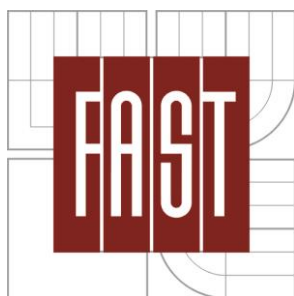


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT
A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING
MATERIALS AND COMPONENTS

PERSPEKTIVA A VYUŽITÍ JÍLŮ S NÍZKOU TEPLOTOU SLINUTÍ V CIHLÁŘSKÉ TECHNOLOGII

UTILIZATION OF CLAYS WITH LOW SINTERING TEMPERATURE IN BRICK TECHNOLOGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAKUB SLÁMA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. RADOMÍR SOKOLÁŘ, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

| | |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Studijní program | B3607 Stavební inženýrství |
| Typ studijního programu | Bakalářský studijní program s prezenční formou studia |
| Studijní obor | 3607R020 Stavebně materiálové inženýrství |
| Pracoviště | Ústav technologie stavebních hmot a dílců |

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

| | |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Student | Jakub Sláma |
| Název | Perspektiva využití jílu s nízkou teplotou slinutí v cihlářské technologii |
| Vedoucí bakalářské práce | doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D. |
| Datum zadání bakalářské práce | 30. 11. 2013 |
| Datum odevzdání bakalářské práce | 30. 5. 2014 |

V Brně dne 30. 11. 2013

I. Z. N. Drochytka

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu



R. Sokolář

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- [1] Hanykř V., Kutzendörfer J. Technologie keramiky, Vega s.r.o. 2000, ISBN 80-900860-6-3
- [2] Sokolář, R. Keramika/Modul BJ01-M01. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, [2006]. 176 s
- [3] Sokolář, R., Smetanová, L. Keramika – laboratoře/Modul BJ02-M01. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, [2006]. 120 s.
- [4] Sokolář, R., Nevřivová, L., Vodová, L., Grygarová, S. Žárovzdorné jíly v ČR a metodika posuzování jejich vlastností. CERM Brno 2012.
- [5] Valenta, L. Keramická příručka. Vydavatelství technické literatury. Horní Maršov 1999.

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Nízkoslinující jíly se vyznačují tvorbou hutného střepu již při nízkých vypalovacích teplotách. Jejich využití v cihlářství lze spatřovat především v oblasti výroby lícových cihel a střešních tašek, tedy při požadavku na mravzdornost střepu.

Cílem bakalářské práce je v teoretické části shrnout dosavadní zkušenosti s využitím příměsí nízkoslinujících jílu v cihlářské technologii (stávající výroba v ČR i v zahraničí, publikované výsledky výzkumu).

Praktickým výstupem bakalářské práce bude:

- provedení průzkumu trhu s jíly v ČR a na základě jejich deklarované slínavosti navrhnout ty, které je možno využít v cihlářském průmyslu pro snížení pórovitosti střepu při stávajících podmínkách výpalu.
- definovat typické znaky vhodných nízkoslinujících jílu jako příměsí pro cihlářské výrobní směsi (mineralogické a chemické složení, granulometrie,...),
- experimentálně posoudit vliv vhodného nízkoslinujícího jílu v podmínkách konkrétní cihelny v ČR a definovat klady a zápory využití posuzované příměsí,
- provést ekonomické zhodnocení efektu použití příměsí nízkoslinujícího jílu v cihlářské surovinové směsi.

Rozsah práce 40 - 50 stran.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....
doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce se zaměřuje na použití nízkoslinujících jíílů jako přísady v cihlářství. Jejich hlavní využití v cihlářství je především ve výrobě lícových cihel a střešních tašek. Využívají se pro svojí velmi dobrou schopnost slinutí a to už relativně při nižších teplotách výpalu. Tato vlastnost má největší význam při požadavku na mrazuvzdornost cihlářského střepeu.

V teoretické části je zpracován přehled a vlastnosti jíílů vyskytujících se v České republice, v zahraničí. Dále jejich požadavky a laboratorní zkoušky cihlářských zemin.

V praktické části byl proveden průzkum trhu, kde jsou nastíněny dostupné nízkoslinující jíily, které lze dle deklarované slínivosti navrhnout pro použití v cihlářském střepeu. V následující části byl proveden experiment, který posuzuje vliv použití nízkoslinujícího jíilu v podmínkách konkrétní cihelny v ČR (Tondach Šlapanice).

Klíčová slova

Nízkoslinující jííl, mrazuvzdornost, slinování, cihlářská technologie.

Abstract

Bachelor thesis focuses on the use of the low sintering clays as additives in brickmaking. Their main use in the brick industry is mainly in the production of facing bricks and roof tiles. They are used for their very good sintering ability even at relatively lower firing temperatures. This feature is the most important for frost resistance of brick fragment.

The theoretical part contains a summary and characteristic features of clays occurring in the Czech Republic and abroad. Further their requirements and laboratory testing of brick clay.

In the practical part was conducted market research where are outlined available low sintering clays that may be proposed for use in brick fragment based on declared sintering. An experiment was performed in the next part of bachelor thesis to assess the effect of using low sintering clay in terms of particular brick factory in the Czech Republic (Tondach Šlapanice).

Keywords

Low sintering clay, frost resistance, sintering, brick technology.

Bibliografická citace VŠKP

Jakub Sláma *Perspektiva využití jílu s nízkou teplotou slinutí v cihlářské technologii*. Brno, 2014. 64 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

.

V Brně dne 30. 5. 2014

.....

podpis autora

Jakub Sláma

Poděkování:

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Radomíru Sokolářovi, Ph.D. za odborné vedení a poskytování cenných rad při zpracování bakalářské práce.

OBSAH

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| CÍL PRÁCE..... | 11 |
| ÚVOD | 12 |
| I. TEORETICKÁ ČÁST | 13 |
| 1. Keramické suroviny | 13 |
| 1. 1 Plastické keramické suroviny (jílové zeminy) | 13 |
| 1.1.1 Rozdělení plastických keramických surovin..... | 14 |
| 1.1.2 Vznik plastických keramických surovin | 14 |
| 2 Jílové minerály | 15 |
| 2.1 Kaolinit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | 15 |
| 2.2 Montmorillonit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ | 15 |
| 2.3 Illit $n\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ | 15 |
| 2.4 Chlorit..... | 15 |
| 3 Nejílové minerály | 16 |
| 4 Jíly | 17 |
| 4.1 Vznik jílu..... | 18 |
| 4.2 Ložiska jílu v ČR..... | 19 |
| 4.3 Rozdělení jílu dle ČSN 72 1330..... | 21 |
| 4.4 Jíly používané v keramickém průmyslu a jejich vlastnosti..... | 22 |
| 4.4.1 Geologie v okolí Chebu..... | 22 |
| 4.4.2 Druhy jílu vyskytujících se na území ČR..... | 24 |
| 4.4.2.1 Jíly Chebské pánve | 24 |
| 4.4.2.2 Jíly Plzeňsko – relikty terciérních sedimentů | 24 |
| 4.4.2.3 Jíly Třeboňské pánve | 24 |
| 4.4.2.4 Kal Ledce | 24 |
| 4.4.2.5 Jíl z Březinské pánve | 24 |
| 4.4.3 Nízkoslinující jíly | 25 |
| 4.4.3.1 Nízkoslinující jíly jako příměs v cihlářské výrobě (ČR) | 25 |
| 4.4.3.1.1 Jíl B1 (LB-MINERALS s.r.o.) | 25 |
| 4.4.3.1.2 Jíl GE (LB-MINERALS s.r.o.)..... | 25 |

| | | |
|-----------|--------------------------------------------------------------------|----|
| 4.4.3.1.3 | Kal Ledce (LB-MINERALS s.r.o.) | 26 |
| 4.4.3.2 | Nízkoslinující jíly jako příměs v cihlářské výrobě (Německo) | 26 |
| 4.4.3.2.1 | TON 1574 (Georg & Schneider GmbH u. Co. KG)..... | 26 |
| 5 | Cihlářská technologie..... | 26 |
| 5.1 | Těžba cihlářských surovin..... | 27 |
| 5.2 | Předpříprava suroviny | 27 |
| 5.3 | Příprava suroviny | 28 |
| 5.4 | Vytváření z výrobní směsi..... | 28 |
| 5.5 | Sušení | 29 |
| 5.6 | Výpal | 29 |
| 5.6.1 | Slinování..... | 31 |
| 5.6.1.1 | Hnací síla slinování..... | 31 |
| 5.6.1.2 | Slinování bez použití tlaku..... | 31 |
| 5.6.1.3 | Slinování bez účasti taveniny..... | 32 |
| 5.6.1.4 | Slinování za účasti taveniny..... | 33 |
| 5.6.1.5 | Slinování za použití tlaku..... | 34 |
| 6 | Mrazuvzdornost..... | 35 |
| 6.1 | Metody zkoušení mrazuvzdornosti | 36 |
| 6.1.1 | Součinitel provlhnutí (koeficient nasycení střepu)..... | 36 |
| 7 | Zkoušky cihlářských zemin..... | 37 |
| 7.1 | Vlastnosti plastického těsta | 37 |
| 7.1.1 | Plastičnost těsta podle Pfefferkorna - ČSN 72 1074 | 37 |
| 7.2 | Vlastnosti vysušeného výlisku | 38 |
| 7.2.1 | Citlivost k sušení - ČSN 72 1565 - 11 | 38 |
| 7.3 | Vlastnosti vypáleného keramického střepu..... | 40 |
| 7.3.1 | Objemová hmotnost, nasákavost - ČSN 72 1565 – 6..... | 40 |
| 7.3.2 | Pevnost v tahu za ohybu - ČSN 72 1565 - 7 | 41 |
| 7.3.3 | Slínavost keramických surovin | 41 |
| 1 | Průzkum trhu s jíly v ČR..... | 43 |
| 1.1 | Jíl B1 | 43 |
| 1.1.1 | Granulometrie..... | 43 |
| 1.1.2 | Chemické složení, žárovzdornost..... | 44 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1.3 Vlastnosti ve vztahu k výpalu | 44 |
| 1.1.4 Slínavost jílu B1 | 45 |
| 1.2 Jíl GE..... | 45 |
| 1.2.1 Granulometrie..... | 46 |
| 1.2.2 Chemické a mineralogické složení, žárovzdornost | 46 |
| 1.2.3 Vlastnosti ve vztahu k výpalu | 47 |
| 1.2.4 Slínavost jílu GE | 47 |
| 1.2.5 Vlastnosti jílu GE v závislosti na hloubce uložení..... | 47 |
| 1.3 Kal Ledce | 48 |
| 1.3.1 Granulometrie..... | 48 |
| 1.3.2. Chemické a mineralogické složení, žáruvzdornost | 49 |
| 1.3.3 Slínavost Kalu Ledce | 49 |
| 2 Experimentální část | 50 |
| 2.1 Použité suroviny..... | 50 |
| 2.2 Metodika práce | 50 |
| 2.2.1 Zkoušky na plastickém těstě..... | 50 |
| 2.2.1.1 Stanovení optimální vlhkosti keramických těst Pfefferkornovým přístrojem . | 50 |
| 2.2.2 Zkoušky na výsušku | 51 |
| 2.2.2.1 Stanovení citlivosti k sušení podle Bigota | 51 |
| 2.2.2.1.1 Vzorek R | 51 |
| 2.2.2.1.2 Vzorek 1 | 52 |
| 2.2.2.1.3 Vzorek 2 | 52 |
| 2.2.2.1.4 Vzorek 3 | 53 |
| 2.2.3 Zkoušky na vypálené vzorku..... | 54 |
| 2.2.3.1 Pevnost v tahu za ohybu | 54 |
| ZÁVĚR..... | 59 |
| Použitá literatura | 60 |
| Seznam obrázků | 63 |
| Seznam tabulek | 64 |

CÍL PRÁCE

Předkládaná bakalářská práce si bere za cíl shrnout dosavadní zkušenosti využití jílu v keramické technologii. Hlavním úkolem je definovat poznatky v oblasti nízkoslinujících jílu. Tyto jíly se vyznačují tvorbou hutného střepu již při nízkých vypalovacích teplotách.

Práce se po úvodu věnuje teoretické stránce věci. Je zde nastíněn především výskyt a vlastnosti daných jílu.

Praktická část se skládá ze dvou úkolů. První část se zabývá průzkumem trhu dodávaných nízkoslinujících jílu. V následující části je proveden experiment, jehož podstatou je použít nízkoslinující jíl jako příměs v konkrétní cihlářské směsi.

ÚVOD

Keramika a s ní spojená její výroba patří k nejstarším z oborů lidské činnosti. První keramické předměty vznikly dávno před počátkem našeho letopočtu. Primitivní nádoby z přírodní zeminy měli tvar měchu nebo košíku.[2] Nádoby byly nejdříve jen vysušené a posléze i vypalované. Slovo keramika pochází z řeckého keramos (původně název pro roh, ze kterého se pilo). Později se v Aténách nazývala čtvrt' hrnčířů Keramikos. [1]

Zásadní vlastností keramického střepu je jeho odolnost proti působení mrazu. Mluvíme tedy o mrazuvzdornosti, která jako taková má zásadní vliv na trvanlivost daného výrobku. Mrazuvzdornost je tedy jedním ze znaků dobré kvality výrobků. [16]

Jíly jsou jemně zrnité sedimentární horniny tvořené především jílovými minerály. Výskyt jílu se váže na jejich vznik, který je především spojen s mořskou sedimentací v rozsáhlých pánvích, kam se drobné částičky dostávali pomocí vodních toků. Vzhledem k vázání výskytu jílu na mořské prostředí je jeho hojné zastoupení i na území ČR, kde vznikl převážně v období druhohor až čtvrtohor. [17]

Při návrhu cihlářského výrobku vycházíme z požadavků a účelu jeho použití. Obecně platí, že čím menší nasákavost, tím větší je pravděpodobnost vyšší mrazuvzdornosti střepu.[2] S rostoucí teplotou výpalu klesá nasákavost, tedy schopnost vypáleného keramického materiálu přijímat kapalinu.

Právě zde mohou jíly najít své uplatnění. Nízkoslinující jíly se vyznačují tvorbou hutného střepu již při nízkých vypalovacích teplotách. Tento poznatek je velice zajímavý, především z ekonomického hlediska, ale i z hlediska zlepšení vlastností keramického střepu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. Keramické suroviny

Jsou látky pro výrobu keramiky, které svým chemickým, mineralogickým a granulometrickým složením vytvářejí předpoklady pro požadované vlastnosti keramického střepu.

Podle původu se dělí na:

- **suroviny přírodní** – převažují v syntetické výrobě
- **suroviny syntetické** – upravené přírodní suroviny užívané především při výrobě speciální nebo žárovzdorné keramiky (např. oxid hlinitý, oxid zirkoničitý)
- **suroviny druhotné** – nejčastěji průmyslové odpady (např. popílký, kaly)

Podle chování s rozděláním s vodou se dělí na:

- **suroviny plastické** – po rozděláním s vodou jsou schopné tvarování (např. jíly, hlíny, kaoliny)
- **suroviny neplastické** – nemají plastické schopnosti a upravují chování směsi surovin při vytváření, sušení a pálení. Dělí se dále na ostřiva, taviva a lehčiva [1]

1. 1 Plastické keramické suroviny (jílové zeminy)

K typickým přírodním surovinám pro keramiku patří jílové plastické suroviny. V současné době je jíl definován jako směsný přírodní materiál, primárně složený z jemně zrnitých materiálů, který je obecně plastický při přiměřeném obsahu vody a který ztvdne po vysušení či vypálení. V koncentrované vodné suspenzi (s obsahem vody cca 20 hmotn. %) vytvářejí snadno tvarovatelné těsto, které je možno tvarovat bez porušení jeho celistvosti.

Podmínkou plastičnosti jílových surovin je:

- a) dostatečný obsah jílových minerálů v zemině. Destičkovitý charakter částic jílových minerálů (zejména kaolinitu) podporuje plastické vlastnosti jílových surovin,
- b) vysoká disperznost částic zeminy,
- c) schopnost iontové výměny na povrchu částic jílových minerálů.

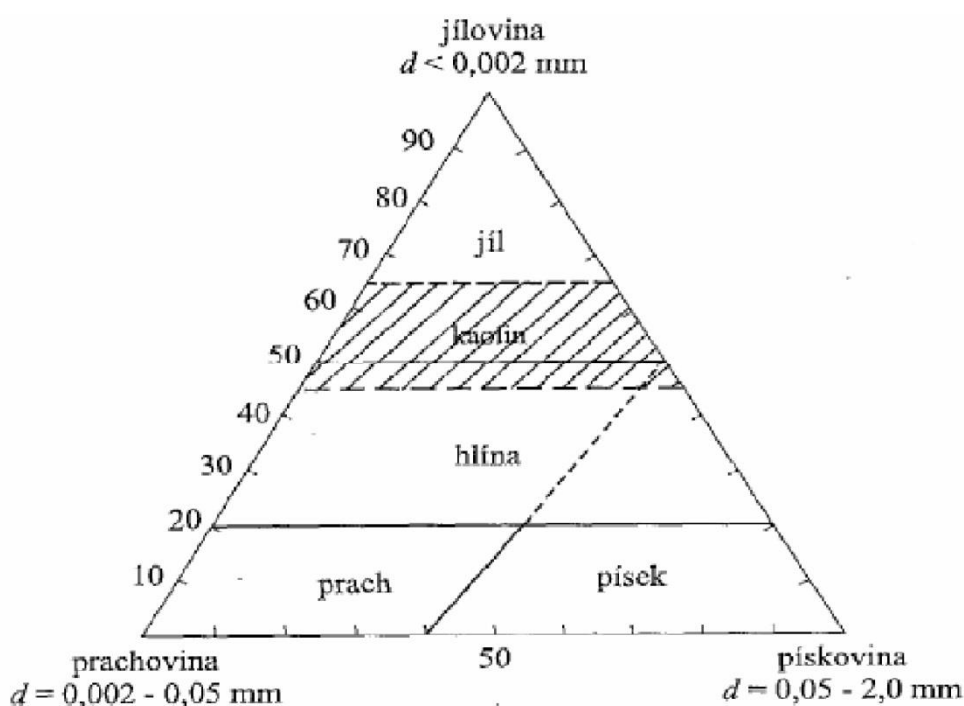
Tyto vlastnosti umožňují vázání vody na povrchu částic plastické suroviny. [1]

1.1.1 Rozdělení plastických keramických surovin

Základním kritériem pro třídění jemnozemí je granulometrické složení. Podle velikostí částic tedy dělíme na tři frakce:

- **jílovina** – střední velikost částic $d < 0,002 \text{ mm}$
- **prachovina** – $d = 0,002 - 0,05 \text{ mm}$
- **pískovina** – $d = 0,05 - 2,0 \text{ mm}$

Rozdělení jemnozemí dle granulometrie je nejlépe patrné z trojúhelníkového diagramu.



Obr. 1 - Rozdělení jemnozemí dle ČSN 72 1330, kde d je velikost částic jemnozeme

1.1.2 Vznik plastických keramických surovin

Plastické keramické suroviny vznikaly v podstatě třemi různými způsoby:

- a) zvětráváním hornin s vysokým obsahem živců (žul, pegmatitů, rul, arkóz),
- b) hydrotermálním rozkladem hornin obsahujících živec,
- c) rozrušením horniny, jejím přemístěním a sedimentací.

Způsob jejich vzniku velmi často ovlivnil jejich výsledné vlastnosti. Významným způsobem ovlivňují vlastnosti těchto surovin jílové minerály. [1]

2 Jílové minerály

Jedná se o skupinu významných minerálů, značně rozdílného složení i struktury.

2.1 Kaolinit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Jedná se o dvojvrstvý nerost, který se skládá z vrstvy tetraedrů Si-O a oktaedrů Al-O-OH. Rozeznáváme dva extrémní strukturní typy: triklinický (T) v dobře vyvinutých šestibokých lupencích a pseudomonoklinický (PM), který je méně pravidelný a vykazuje výtečnou plastičnost. Halloysit je minerál podobný kaolinitu.[6]

2.2 Montmorillonit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

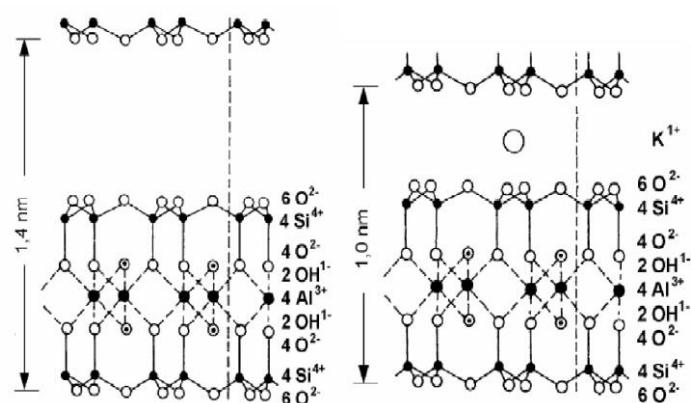
Jedná se o jílový trojvrstvý nerost. Ionty (např. Na^+ , Ca^+ , Mg^{2+}) obklopené vrstvami vody jsou absorbovány mezi základními trojvrstvami, proto má značný vliv na vzdálenost základních trojvrstev (obvykle 1,4 nm). [2]

2.3 Illit $n\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Je to minerál, který se strukturou podobá montmorillonitu, ale ionty hliníku jsou nahrazeny křemíkovými ionty v tetraedrech a to v míře až 20 %. Mezi základní trojvrstvou je elektrická negativita, ta je vyvážena kyslíkovými ionty. Výhodný iontový poloměr draslíku pevně poutá jednotlivá trojvrství, proto illit nebobtná. Illit má lepší plastičnost než kaolinit, proto je častým minerálem v cihlářských surovinách. [6]

2.4 Chlorit

Existují dva strukturní typy chloritu – první skupina má strukturu analogickou struktuře kaolinitu. Druhý typ se liší strukturou od všech jílových minerálů. [2]



Obr. 2 - Schéma struktury montmorillonitu (vlevo) a illitu (vpravo)

Rozdílné vlastnosti jílových minerálů mají vliv na rozdílné chování jílovinových zemin s obsahem různých typů minerálů. Jde především o plastičnost zemin- ta je závislá na množství jílových minerálů a nejílových podílů v zemině, ale také na typu jílového minerálu. Míra plastičnosti jílových minerálů je závislá na velikosti jílových zrn, viz tab. 1.

Tab. 1 - Granulometrie a měrný povrch jílových minerálů

| Jílový minerál | Měrný povrch [m ² · g ⁻¹] | Průměrná velikost krystalů [μm] |
|----------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------|
| Kaolinit | řádově 10 (10 - 40) | 0,1 - 2,0 (hrubé až 10) |
| Montmorillonit | 500 - 900 | pod 0,1 (řádově až 0,00x) |
| Illit | 70 - 150 | pod 1 |
| Chlority | řádově 100 | do 5 |

Tab. 2 - Chemické složení jílových minerálů

| Jílový minerál | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | ostatní | H ₂ O |
|-----------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|---------|------------------|
| Kaolinit (teoreticky) | 46,5 | 39,5 | --- | --- | --- | 14,0 |
| Kaolinit | 45 - 49 | 38 - 35 | 0,02 - 2,00 | 0,1 - 1,0 | 5 - 1 | 12 - 15 |
| Montmorillonit | 50 - 55 | 16 - 20 | 0,06 - 6, 00 | 0,5 - 3,0 | 4 - 6 | 8 - 23 |
| Illit | 54 - 58 | 21 - 35 | 3 - 8 | 1 - 2 | 4 - 7 | 4 - 10 |

3 Nejílové minerály

Cihlářské zeminy obsahují také nejílové minerály. Většinou se jedná o větší zrna, ty odpovídají pískovině nebo prachovině. Nejílové minerály můžeme identifikovat síťovým rozbořem plavením – tvoří zbytek např. na síť 0,063 mm.

Mezi nejílové minerály řadíme: slídy, křemen, živec, vápenec, dolomit, organ. látky, hydroxidy železa a další minerály. [2]

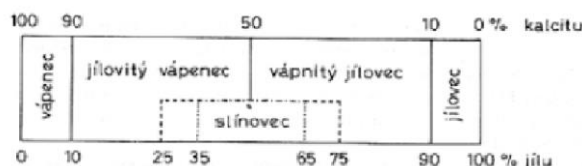
4 Jíly

Jíl je sedimentární hornina, která vzniká destrukcí – rozkladem starších hornin, transportem různě velkých úlomků horninového materiálu, usazením materiálu transportovaného v pevném stavu nebo vyloučením látek v roztoku, k němuž dochází při chemických procesech nebo činností organismů. Vznik sedimentů můžeme tedy rozdělit na několik etap. Skládají se z: mechanického rozrušování, zvětrávání výchozích hornin, transportu produktů mechanického rozrušování či zvětrávání a dále jejich sedimentace. Sedimentární horniny jsou nejrozšířenější na zemském povrchu.

Jíl je tvořen převážně jílovitou hmotou (zrnitostí frakce pod 0,002 mm). Tato frakce se v jílu nachází ve více jak 50 %. Minerály nacházející se v jílu jsou rozděleny do různých skupin, kterými jsou například podskupina kaolinitu, skupina smektitu, skupina vermikulitu a dále smíšené vrstevnaté jílové minerály. Kromě jílových minerálů obsahuje jíl také některé další složky jako jsou: slídy, křemenný prach, organickou hmotu a fluidy. Přibýváním karbonátů přechází sediment do jílovitých vápenců, pokud narůstá objem organických látek, může přecházet do jílovitého uhlí. Textura je nejčastěji masivní, typickou vlastností je snadná rozplavitelnost ve vodě. Strukturní zralost jílu se definuje na základě obsahu ostatních zrnitostních frakcí. Jako jíly zralé se označují ty, které obsahují podíl jiných zrnitostních frakcí do 3 %, viz obr. 3. U mineralogické zralosti se za zralé považují jíly monominerální. Zbarvení je různé podle příměsí – bílé, šedé, žluté, hnědé, fialové a další. Druhotně mohou být zpevněné – jílovce, případně navíc nemetamorfne rekrystalizované – jílovité břidlice. Pokud převažuje v jílovité hornině uhličitán vápenatý, hovoříme o vápenatém jílu, který byl dříve označován jako slín. Obsahuje-li jíl (jílovec) více než 10 % (podle jiných klasifikací nad 5 %) CaCO_3 , mluví se o vápnitém jílu, viz obr. 4.[8]

| Stupnice zrnitosti a názvosloví | | | | | |
|---------------------------------|-------|----------------|------------------|---------|--------|
| F _i | mm | | | (F) | (I) |
| 8 | 256 | balvany | šterk, slepenec | psefit | rudit |
| | 50 | hrubé | | | |
| | 10 | střední | | | |
| | 2 | drobné | | | |
| 1 | 1 | hrubozrnný | písek, pískovec | psamit | arenit |
| 0 | 0.5 | střednozrnný | | | |
| 2 | 0.25 | jemnozrnný | | | |
| 4 | 0.063 | | | | |
| 8 | 0.004 | silt, siltovec | prach, prachovec | oleurit | lutit |
| | | neboli | | | |
| | | | | | |
| 9 | 0.002 | jíl, jílovec | | beilit | |

Obr. 3 - Stupnice zrnitosti



Obr. 4 - Názvosloví hornin vápenec - jílovec

4.1 Vznik jílu

Jíly jsou nejjemnější produkty zvětrávání hornin. Jejich vznik můžeme rozdělit dle původu na:

- **reziduální** - vznikly zvětráváním na místě. Obsahují zbytky nezvětrané matečné horniny a tvoří obvykle ložiska menší rozlohy s malým významem pro využití v keramice,
- **přemístěné (naplavené)** - vodou odneseny do moří (velmi plošná rozsáhlá stejnorodá ložiska značné mocnosti), jezer (mocná ložiska s dobrými technologickými vlastnostmi) a řek (často proměnlivé složení a nepravidelné uložení). [2]

Během přesunu může dojít ke zlepšení vlastností jílu, pokud se oddělí hrubá zrna. Nebo ke zhoršení vlastností, pokud dojde k přimísení nežádoucích směsí.

Podle obsahu jílových minerálů rozeznáváme jíly:

- **monominerální** – jílový minerál tvoří více než 90 % obsahu všech přítomných jílových minerálů. Hovoříme tedy o jílech kaolinitických, illitických apod.
- **polyminerální** - obsahují více druhů jílových minerálů – např. jíl kaoliniticko-illitický apod.

4.2 Ložiska jílu v ČR

Jíly a jílovce jsou u nás těženy povrchově a místy i hlubinně (Opatovicko) [7].

V České republice se vyskytují ložiska:

- Žárovzdorných jílu, po výpalu vhodných jako ostřívo pro výrobu šamotového zboží. U této suroviny se požaduje co nejvyšší obsah Al_2O_3 , co nejnižší obsah Fe_2O_3 , vysoká žárovzdornost a co nejnižší nasákavost po výpalu. Hlavním jílovým minerálem je kaolinit.
- Žárovzdorných jílu použitelných jako vazná (plastická) složka při výrobě především žárovzdorného zboží. Mimo vysoké vaznosti je požadován co nejnižší obsah Fe_2O_3 a nízký obsah alkálií.
- Kaolinitických jílu v podloží uhelných slojí obsahující kolem 40 % Al_2O_3 , místy 3-7 % TiO_2 a vesměs i vysoký obsah sideritu. [4]



- 1 - Kladensko – rakovnický permagon
- 2 - Moravská a východočeská křída
- 3 - Křída v okolí Prahy
- 4 - Lounská křída
- 5 - Jihočeské pánve
- 6 - Plzeňská pánev a terciérní relikt středních a západních Čech
- 7 - Chebská a sokolovská pánev
- 8 – Severočeská a žitavská pánev
- 9 – Terciér a kvartér na Moravě

Obr. 5 - Evidovaná ložiska žárovzdorných jílu v ČR

Ložiska jílu jsou sedimentárního původu. Jílový materiál je tedy různou měrou doprovázen různým množstvím prachových a pískových zrn, případně úlomky hornin. Běžnými doprovodnými minerály těchto jílu a jílovců jsou křemen a muskovit. Nejvýznamnější ložiska jílu a jílovců v ČR obsahují jako pojivý minerál kaolinit. Kromě hlavního podílu kaolinitu obsahují někdy také určité podíly illitu, montmorillonitu nebo příměsi obou těchto minerálů.

V České republice se nachází devět oblastí, kde se vyskytují kvalitní kaolinitické jílovce a jíly využitelné v keramické výrobě:

Kladensko-rakovnický revír, kde se těží kaolinitické jílovce a lupky s vysokým obsahem oxidu hlinitého (až 60, příp. 70 hmotn. %), které jsou vhodné k výrobě šamotu a žárovzdorných materiálů. Jsou to zejména ložiska v Hořkovci u Nového Strašecí a v Rakovníku. Znáмым je také kaolinitický červeně se pálicí plastický jíl, který se těží v ložisku Kačírov.

Moravská a východočeská ložiska v okolí Moravské Třebové, kde se nacházejí kaolinitické jílovce, např. ložisko Voděhrady a oblast mezi Mladějovem a Letovicemi. U Letovic je zajímavé ložisko vápenatého slínovce.

Okolí Prahy, zejména oblast Brníku a Vyšehořovic. Dále jsou to např. další využívaná středočeská ložiska Vižina a Kopanina.

Lounská oblast, kde jsou známá ložiska jílu. Jsou to např. Ročov, Kounov, Tvršice a Líšťany. V současné době probíhá těžba na ložiskách Tvršice a Líšťany. Tyto jíly se využívají ve výrobě elektroporcelánu a stavební keramiky.

Jihočeská pánev zahrnuje ložiska jílu, která se rozkládají v oblasti Zliv – Blana a v oblasti Borovan. V Borovanech se těží tzv. modřicové jíly využívané při výrobě kameniny a stavební keramiky. Patří sem i ložisko Jehnědno u Písku produkující jíly pro výrobu žáromateriálu.

Plzeňská pánev, kde je několik ložisek keramických jílu. Jsou to mj. ložiska Břasy, Ledce, Žilov (červeně se pálicí jíl) a Kyšice. Tyto jíly jsou využívány zejména při výrobě kameniny a stavební keramiky. V současné době se těží na ložisku Žilov a Kyšice.

Chebská pánev je velmi významná, protože umožňuje produkovat velmi široký sortiment jílu pro keramiku. Je reprezentována tzv. valdštejnským souvrstvím, které zahrnuje vonšovské vrstvy, vrstvu uhelnatých jílu a vrstvy novoveské.

Severočeská a žitavská oblast se rozkládá na chomutovsko-mostecko-teplické pánvi. Je reprezentována nadložními jíly.

Jihomoravská oblast, která zahrnuje ložiska jílu v okolí Poštorné a Šatova. [1]

4.3 Rozdělení jíílů dle ČSN 72 1330

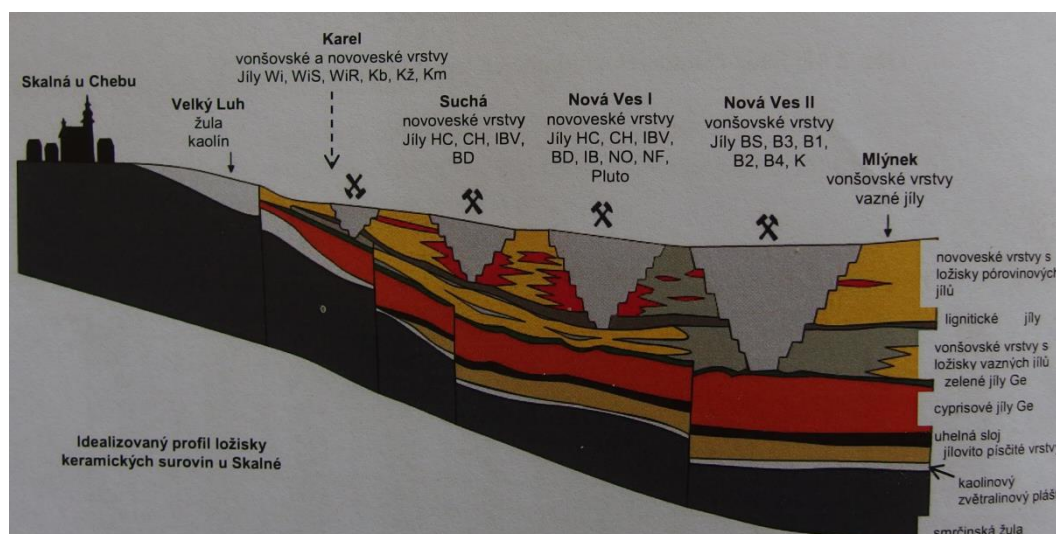
- **Jíílý žárovzdorné** - mají žárovzdornost minimálně 1580 °C, sleduje se u nich obsah Al_2O_3 , Fe_2O_3 a vaznost, případně další vlastnosti pro dané účely použití.
- **Jíílý kameninové** - mají teplotu slinutí maximálně 1300 °C a sleduje se u nich zejména vaznost, smrštění při slinutí, odolnost proti kyselinám po výpalu, obsah zrn křemenného píisku, případně další vlastnosti podle účelu použití.
- **Jíílý pórovinové** - mají nasákavost po výpalu na 1250 °C nejméně 2 % a sleduje se u nich smrštění, barva a bělost po výpalu, obsah Fe_2O_3 , TiO_2 a zrn křemenného píisku, případně další vlastnosti podle použití.
- **Jíílý slévárenské** - mají pevnost v tlaku po vysušení na 200 °C nejméně 0,4 Mpa a sleduje se u nich zrnitost, vaznost při optimálním ovlhčení, žárovzdornost, případně další vlastnosti podle účelu použití.
- **Hrnčířské** (žárovzdornost průměrně 960 – 1100 °C).
- **Cihlářské**

Zdroje žárovzdorných jíílů jsou v ČR značné. Jsou využívány řadou tuzemských i zahraničních odběratelů, ale doposud nebyla publikovaná ucelená informace či studie o vlastnostech žárovzdorných jíílů, která by podala přehled o této hojně využívané surovině. V zahraničí jsou odborných publikace běžné. Jsou uváděny podrobné informace (tzn. technologické vlastnosti a vlastnosti mikrostruktury) obecně o jíílech běžně.

Jednotlivý tuzemští dodavatelé jíílů (žárovzdorných, kameninových, pórovinových) se ve svých informacích o jíílu obvykle omezují pouze na uvedené chemické složení jíílů a údaje o jejich žárovzdornosti, případně o teplotě slinutí a základních informacích o granulometrii. Pro vlastní použití jsou však důležité i jejich další technologické vlastnosti, jako například mineralogické složení, množství rozdělovací vody, chování při výpalu (déíkové změny, exotermické, resp. endotermické reakce), slínavost, pórovitost střeíu v závislosti na teplotě výpalu apod. V minulosti byl pro zahraniční odběratele vydáván státním podnikem Československé keramické závody katalog těžených jíílů v České republice, který nejdůležitější technologické vlastnosti našich jíílů obsahoval. [4]

4.4 Jíly používané v keramickém průmyslu a jejich vlastnosti

Zde uvedené jíly jsou dodávány jako homogenizované a granulované volně ložené na nákladních autech nebo vagónech. Jíly jsou také upravovány sušením a mletím, jejich expedice je pak realizována v obřích vacích, papírových pytlích nebo také v silo-kamiónech. Převážná většina jílu pochází z produkce firmy LB MINERALS, s.r.o. (ložiska okolo Skalné u Chebu, viz obr. 6, Kyšic a Borovan). Dále z produkce P-D Refractories CZ a.s. (Březinská pánev) a Goerg & Schneider GmbH u. Co. KG.



Obr. 6 - Idealizovaný profil ložisek jílu v okolí Skalné u Chebu

4.4.1 Geologie v okolí Chebu

Ložiska jílu jsou vázána na třetihorní (terciérní) sedimenty Chebské pánve. Produktivní vrstvy v tzv. valdštejském souvrství začaly sedimentovat na konci neogénu v pliocénu = cca před 1 mil. let.

Valdštejské jílovito-písčité souvrství se rozděluje na:

- starší vonšovské vrstvy s ložisky vazných jílu nasedající na zelené jíly (jíl GE) vzniklé degradací povrchu cypřisového souvrství
- mladší novoveské vrstvy s ložisky pórovinných a bělninových jílu, které jsou od vonšovských vrstev odděleny polohou lignitických jílu NERO. [10]

Tab. 3 - Požadavky na pórovinové jíly

| Vybrané vlastnosti | | Požadavek max - min | Skupina | Třídy | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------|---------|-------|---------|--------|-----|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Bělost [%] | | min | A | 75 | 70 | 60 | 50 |
| Obsah Fe ₂ O ₃ [%] | | max | A | 1 | 1,5 | 2 | - |
| Obsah TiO ₂ [%] | | max | A | 0,4 | 0,8 | 1,2 | 1,6 |
| Vaznost [%] | | min | A, B | 60 | 30 | 10 | - |
| Nasákavost po výpalu na 1250 °C [%] | | min | A, B | 19 | 12 | 8 | 2 |
| Smrštění pálením [%] | | max | A, B | 6 | 12 | 15 | - |
| Zrnitost [%] | > 2 mm | max | A, B | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | > 0,09 mm | | | 2 | 2 (5) | 2 (10) | - |
| | > 0,063 mm | | | 10 | 20 (10) | - (20) | - |
| A - bělinové pórovinové jíly (bíle se vypalující), B - jíly pro barevnou pórovinu | | | | | | | |

Tab. 4 - Požadavky na žárovzdorné jíly

| Vybrané vlastnosti | | Požadavek max - min | Třídy | | | | | |
|------------------------------------------|-----------|------------------------|-------|------|------|------|------|------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Žáruvzdornost [°C] | | min | 1750 | 1730 | 1710 | 1690 | 1650 | 1580 |
| Teplota slinutí [°C] | | max | 1250 | 1350 | 1410 | - | - | - |
| Obsah Al ₂ O ₃ [%] | | min | 40 | 37 | 34 | 30 | 27 | - |
| Obsah Fe ₂ O ₃ [%] | | max | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 6 | - |
| Vaznost [%] | | min | 60 | 30 | 10 | - | - | - |
| Zrnitost [%] | > 8 mm | max | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | > 2 mm | | 0 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | - |
| | > 0,09 mm | | 2 | 5 | 20 | 20 | - | - |

Tab. 5 - Požadavky na kameninové jíly

| Vybrané vlastnosti | | Požadavek max - min | Třídy | | | |
|---------------------------------------------------|-----------|------------------------|-------|------|----|----|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Interval slinutí [°C] | | min | 100 | 100 | - | - |
| Teplota slinutí [°C] | | max | 1250 | 1350 | - | - |
| Odolnost proti kyselinám po výpalu na 1250 °C [%] | | min | 97 | 95 | - | - |
| Žáruvzdornost [°C] | | min | 1710 | 1650 | - | - |
| Smrštění při teplotě slinutí [%] | | max | 10 | 14 | - | - |
| Vaznost [%] | | min | 60 | 30 | 10 | - |
| Zrnitost [%] | > 8 mm | max | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | > 2 mm | | 0 | 1 | 1 | 1 |
| | > 0,09 mm | | 2 | 5 | 10 | 20 |

4.4.2 Druhy jílu vyskytujících se na území ČR

4.4.2.1 Jíly Chebské pánve

Jíly B1, B2, B3, B4 jsou nyní těženy na ložisku Nová ves 2, v případě dotěžení je zde možnost pokračovat na přilehlém ložisku Karel-předpolí nebo mlýnek (obrázek č. 4). Kvalita jílu je velmi podobná díky stejnému původu sedimentovaného materiálu a ostatních podmínek vzniku ložisek.

Jíly IBV a HC těžící se především na ložisku Nová Ves a Suchá jsou rovněž zastoupeny v nadložních vrstvách ložiska Karel-předpolí.

Jíl Pluto a NO se těží jen na ložisku Nová Ves a Suchá s dostatkem zásob.

Jíl GE se dnes těží na ložisku Nová Ves 2. Tento jíl je možno těžit i na ložisku Zelená. Dále se vyskytuje v podloží ložiska Karel-předpolí.

AGV/B je směsný jíl složený z vazných jílu ložiska Nová Ves 2 a kameninových jílu ložiska Vackov.

4.4.2.2 Jíly Plzeňsko – relikty terciérních sedimentů

Jíl Kyš je dnes těžen na plošně rozlehlém ložisku Kyšice-Ejpovice u Plzně s dostatkem zásob na následující období.

4.4.2.3 Jíly Třeboňské pánve

Jíl MM je v současné době těžen na plošně rozlehlém ložisku Borovany u Ledenic s dostatkem zásob na následující období.

4.4.2.4 Kal Ledce

Kal je produkován jako odseparovaný jemný podsítný podíl pod 0,2 mm plavírnou šterkopísků Ledce u Brna s dostatečnou zásobou šterkopísků k úpravě.

4.4.2.5 Jíl z Březinské pánve

Jíl BVP je v současné době těžen pouze povrchově v lomu Březinka. Původní hlubinná těžba byla v roce 2009 ukončena. Využívá se pro výrobu kvalitních pálených lupků.

4.4.3 Nízkoslinující jíly

Jedná se o jíly, které mají schopnost již při nízkých vypalovacích teplotách vytvořit hutný cihlářský střepek. Z ekonomického i praktického hlediska je při výpalu keramiky výhodné snížení vypalovací teploty.

4.4.3.1 Nízkoslinující jíly jako příměs v cihlářské výrobě (ČR)

4.4.3.1.1 Jíl B1 (LB-MINERALS s.r.o.)

Jedná se o jíl s vysokým obsahem kaolínu. Patří do skupiny žáruvzdorných jíků. Vyznačuje se velmi dobrou vazností a slínavostí. Běžně se používá k výrobě vysoce žáruvzdorných materiálů (1720 °C) např. šamot, k výrobě dlaždic a stavební kameniny. Je používán jako korekční surovina v cihlářské výrobě tam, kde je důležitá mrazuvzdornost (výroba střešních tašek), právě pro své velmi dobré slinování při teplotách kolem 1000 °C. [6]

4.4.3.1.2 Jíl GE (LB-MINERALS s.r.o.)

Jíl GE je montmorilloniticko – illiticko – kaolinitický jíl obsahující podstatné množství montmorillonitu, illitu a kaolinitu sedimentární povahy. Vznikl přeplavením starších sedimentů. Montmorillonitické jíly s obsahem illitu a minimem kaolinitu vznikají především zvětráváním vulkanického popela. [4]

Patří mezi slévárenské jíly. Jedná se o vazný jíl s velmi nízkou teplotou slinutí – 950 °C. Při této teplotě střepek nabývá maximální objemové hmotnosti. V keramické technologii se jíl GE využívá jako plastifikační přísada, která podporuje slinutí střepek a také pro svoji červenou barvu po výpalu používán k barevné korekci v keramických hmotách. Mezi jeho nevýhody, vzhledem k jeho vyššímu obsahu montmorillonitu, patří zejména větší množství potřebné rozdělovací vody a z něho plynoucí větší délková změna sušením a větší citlivost k sušení. Při výpalu probíhá již od 800 °C výrazné smrštění střepek, které končí při teplotě 1030 °C. Poté již následuje výrazné nadýmání střepek, které je provázeno zvýšením pórovitosti vypáleného střepek. [13]

4.4.3.1.3 Kal Ledce (LB-MINERALS s.r.o.)

Kal Ledce představuje druhotnou surovinu z procesu praní štěrkopísku frakce 0-4 mm (drobné těžené kamenivo DTK 0/4) v lomu Ledce u Brna. Kal se vyznačuje dobrou plastičností. Plastičnost kalu Ledce zejména díky obsahu jílového minerálu montmorillonitu dosahuje hodnot, které jsou běžné pro některé komerčně dodávané kaolinitické jíly. Vzhledem k velmi dobré slínavosti jej lze použít v keramické technologii pro zintenzivnění červené barvy a pro snížení pálicí teploty, resp. zvýšení hutnosti střepe například při výrobě pálených střešních tašek nebo lícových cihel. [4,15]

4.4.3.2 Nízkoslinující jíly jako příměs v cihlářské výrobě (Německo)

4.4.3.2.1 TON 1574 (Georg & Schneider GmbH u. Co. KG)

Kameninový jíl s vysokým obsahem křemene (72,90 %). Prokazuje obdobné vlastnosti jako jíl B1, kromě plastičnosti, která je kvůli obsahu křemene nižší. Jeho žárovzdornost je menší (1570 °C). Nad 1200 °C hrozí nadýmání střepe. Výhodou jsou nižší rozměrové změny a deformace během výpalu i sušení. [14]

5 Cihlářská technologie

Cihlářské výrobky patří mezi základní a nejstarší keramické výrobky. Vyrábí se z přírodních surovin – nízkotavitelných jíků a hlín. Vytváření probíhá především z plastického těsta s obsahem vlhkosti 25 %, které se ve většině případů vypaluje při teplotě 930 °C – 1050 °C. Musí vykazovat takové vlastnosti, aby stavby z nich prováděné *spĺňovaly* následující požadavky: mechanická pevnost, požární bezpečnost, hygiena a zdravotní nezávadnost prostředí, bezpečnost při užívání, ochrana proti hluku, úspora energie a tepelná izolace. Musí též respektovat vliv na životní prostředí a být recyklovatelné po skončení životnosti.

Cihlářská výroba probíhá zpravidla dle následujícího technologického postupu:

- *vyhledávání surovin a průzkum jejich vlastností,*
- *těžba surovin a jejich příprava,*
- *zpracování a úprava surovin,*
- *vytváření z výrobní směsi,*
- *sušení vylisku,*
- *výpal,*
- *třídění a expedice výrobků.*

5.1 Těžba cihlářských surovin

Cihlářské suroviny se těží zásadně povrchovým způsobem a téměř výhradně v blízkosti cihelny. Místo těžby cihlářských surovin se obvykle označuje jako hliniště. Pro těžbu většinou nezpevněných nebo jen málo zpevněných cihlářských zemin se obvykle používají jednoduché těžební stroje pro vertikální způsob těžby – korečková, kolesová nebo lopatová rypadla. Kromě dobývacích strojů, těžících surovinu vertikálně se mohou používat také stroje s plochou těžbou (radlicové stroje) – dozery, rozrývače, skrejpry, grejdry (srovnávače).

Natěžená surovina se z hliniště dopravuje zpravidla na místo ukládky – haldu.

5.2 Předpříprava suroviny

Mezi předpřípravu surovin řadíme technologické operace, které předcházejí vlastní přípravě (úpravě) suroviny v závodě. Mezi základní způsoby předpřípravy suroviny patří zejména haldování. Haldování je ukládání (vrstvení) natěžené suroviny na haldy. Halda plní dvě základní funkce:

- umožňuje prvotní homogenizaci a částečné odležení suroviny
- vytváří dostatečnou zásobu suroviny

Navrstvená surovina se na haldě vždy do určité míry promísí (homogenizuje) a zlepší se její stejnorodost.

5.3 Příprava suroviny

Příprava cihlářské suroviny je technologický proces, který spočívá v úpravě vlastností natěžené suroviny tak, aby výsledné těsto mělo optimální vlastnosti, stabilizované pro celý objem výroby.

Během přípravy suroviny se provádí regulace vlastností změnou množství rozdělovací vody, ostřením, lehčením, odvzdušňováním, odležením, použitím přísad, ale také důslednou homogenizací, drcením, mletím a míšením.

Pro úpravu vlastností plastického keramického těsta se v cihlářství používají zejména tyto základní úpravářská zařízení:

- **podávání a dávkování:** skříňové a bubnové podavače, na sypké příměsi i podavače šnekové,
- **míšení a homogenizace:** kolové mlýny, talířová mísidla, protlačovací mísidla,
- **drcení a mletí:** kolové mlýny, válcové mlýny,
- **skladování a odležování:** odležárny, odležovací věže, zásobníky. Volba konkrétní varianty přípravy pracovní směsi je závislá na vlastnostech komponentů cihlářského těsta a požadavcích na jeho kvalitu.

Součástí přípravných operací, prováděných zpravidla před samotným vytvářením výrobků, je proprařování suroviny horkou párou a odvzdušnění těsta ve vakuové komoře šnekového lisu. Připravené plastické těsto, které vchází do šnekového lisu má vlhkost (tzv. vytvářecí vlhkost, resp. rozdělovací vodu) zpravidla v rozmezí 18 – 22 %. Odležárna plní kromě funkce homogenizační také funkci provozní - zajišťuje zejména dostatečnou zásobu suroviny pro překlenutí špatného nebo zimního počasí, výpadků v těžbě apod.

5.4 Vytváření z výrobní směsi

Vytváření neboli tvarování, či formování je keramický technologický postup, kterým se dodává vytvářecí směsi (těstu) žádaný tvar daný buď formou (při vytváření ručním, při ražení) nebo ústím lisu (při vytváření tažením). Vytváření tedy představuje převedení polydisperzního systému keramického těsta v kompaktní systém konkrétních geometrických rozměrů.

Technik tvarování existuje v keramické technologii celá řada. V cihlářství se téměř výhradně používá vytváření z plastického těsta, což je nejstarší způsob vytváření v keramice. Naprosto převládající vytvářecí technologií v cihlářství je pak tažení plastického těsta na šnekových lisech.

5.5 Sušení

Jedná se o technologický proces, při kterém dochází působením tepla k odstranění nebo snížení vlhkosti výlisku na takovou hodnotu, která je určena podmínkou výpalu. Změna vlhkosti způsobuje změnu stavu látky (výsušku), což se projevuje v mikrostruktuře a ve vlastnostech. Vysušený výlisek ztrácí schopnost přetváření, kterou mu poskytovala přítomná voda a přechází do pevného stavu s výrazně vyšší pevností. Částice se přibližují v důsledku odstranění vody.

Zákonitosti sušícího procesu rozdělujeme na tři části:

- ***Dynamika sušení***

Stanovuje závislost změny vlhkosti vysoušené látky na době sušení s ohledem na parametry sušícího média a fyzikální vlastnosti struktury vysoušené látky. Rychlost sušení je podmíněna množstvím dodávaného tepla a schopností výlisku ztrácet vlhkost bez vzniku trhlin a deformací.

- ***Statika sušení***

Objasňuje souvislost mezi veličinami udávající počáteční a konečný stav látek, které se účastní sušícího procesu. Statika sušení lze vyjádřit pomocí tepelné bilance.

- ***Technologie sušení***

Aplikuje poznatky dynamiky a statiky sušení na výrobní zařízení. Popisuje konstrukci a regulaci sušícího procesu s cílem získat kvalitní výlisky s minimální spotřebou tepla.

5.6 Výpal

Výpal keramiky patří mezi základní procesy v cihlářské technologii. Jedná se o tepelné zpracování keramického materiálu podle stanovovaného vypalovacího režimu.

Výlisek charakteristické mikrostruktury a konkrétního tvaru získává pálením nové strukturální uspořádání, kterému propůjčuje technické a technologické vlastnosti potřebné pro jeho aplikaci. Mikrostruktura vypáleného výrobku je nositelem např. pevnosti, stálosti tvaru, odolnosti proti různým vlivům a získává jiný vzhled.

Tab. 6 - Požadavky na kameninové jíly

| Proces | Teplotní intervaly |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| vypařování fyzikálně vázané vody | < do 300 °C |
| dehydroxylace jílových minerálů | 450 – 700 °C |
| spalování organických příměsí a uhlíku usazeného ve střepu | 300 - 1040°C |
| průběh vratných a nevratných modifikačních přeměn, rozklad síranů, uhličitánů oxidů a dalších příměsí | 400 – 1000 °C |
| reakce složek v pevném stavu | 500 – 1050 °C |
| tvorba skelné fáze | > 900 °C |
| nukleace a krystalizace nových fází | > 1000 °C |
| slinování některých fází v tavenině | > 1100 °C |
| rozpouštění některých fází v tavenině | > 1100 °C |

Na tvorbu mikrostruktury mají rozhodující vliv:

- vlastnosti a zrnitosti minerálů,
- reakce mezi nimi probíhající v tuhé fázi,
- tvorba sloučenin, z nichž vznikají taveniny v rozmezí teplot 700-950 °C, které zpevňují střep více než reakce v tuhé fázi,
- obsah uhličitánů, které mění průběh slinování nad teplotou jejich rozkladu (700-800 °C),
- obsah organických látek,
- technologický průběh výpalu, rychlost a výše výpalu, tedy i prostředí, které průběh slinovacích reakcí přímo ovlivňuje.

Výpal se dělí na tři časové úseky:

- ohřev vysušených výlisků až do vypalovací teploty
- fáze výdrže vypalovací teploty, izotermický ohřev
- ochlazování až na teplotu okolí [1,6]

V cihlářství se, oproti jiným oborům keramiky, uplatňuje výpal na poněkud nižší vypalovací teploty (zpravidla do 1000 °C, resp. v rozmezí asi 860 – 1050 °C). Doba výpalu činí

v průměru 10 až 30 hodin, výpal probíhá v oxidační atmosféře se spotřebou 1100 až 2100 kJ.kg⁻¹ vypálené hmoty.

Z energetického hlediska je výpal nejnáročnější operací v cihlářské výrobě, energie vynaložená na výpal představuje až 50% celkově spotřebované energie.[1]

5.6.1 Slinování

Slinování je významným procesem, který probíhá při výpalu keramiky. Je to proces, který se uplatňuje nad určitou teplotou a je procesem samovolným. Je důsledkem specifického chování zakřivených povrchů disperzních soustav. Hnací silou slinování je snižování povrchové energie soustavy. [1] Slinování se projevuje snižováním pórovitosti při zachování tvaru. Může probíhat v systému pouze z pevných fází (bez přítomnosti taveniny) nebo v systému z pevné a kapalně fáze (za přítomnosti teplem vzniklé taveniny bez změny skupenství látky).

5.6.1.1 Hnací síla slinování

Slinování je proces hnaný snižováním Gibbsovy energie systému (volné entalpie). K jejímu snižování dochází zmenšováním fázového rozhraní *tuhá fáze – plyn* přechodem na energeticky výhodnější fázové rozhraní *tuhá fáze – tuhá fáze*. Tím vznikají hranice zrn. S klesající velikostí keramických částic roste jejich specifický povrch a slinování probíhá rychleji. Povrchová energie částic keramického materiálu je závislá na zakřivení povrchu. Se zmenšujícím se poloměrem částic se zvyšuje podíl plochy povrchu na jednotku objemu a roste chemický potenciál atomů pod povrchem. Se zakřivením povrchu se zvyšuje i napětí v povrchové vrstvě definované Laplaceovou rovnicí.[12]

$$\sigma = \gamma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

- σ napětí v povrchové vrstvě, γ - měrná povrchová energie, r_1, r_2 – poloměry zakřivení povrchu

5.6.1.2 Slinování bez použití tlaku

Při procesu slinování se zpevňuje pórovitá nebo partikulární látka. Za působení teploty dochází ke spojování částic, aniž by se daná látka tavila. Hlavním znakem slinování je tedy snížení pórovitosti bez tvarových změn. Proces slinování bez použití tlaku může probíhat ve dvou různých systémech:

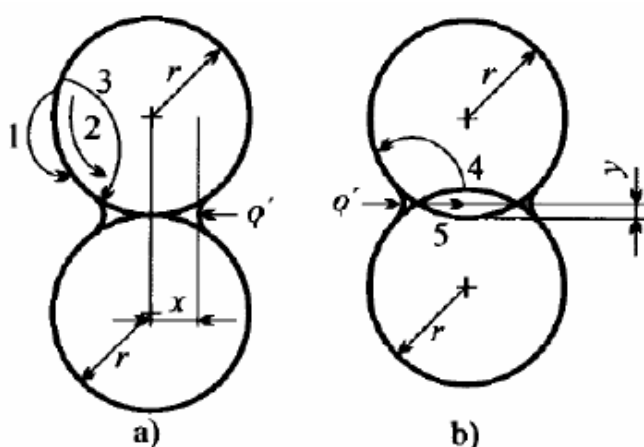
- systém pouze z pevných fází (bez účasti taveniny)
- systém z pevné a kapalné fáze (s účastí taveniny) [1,6]

5.6.1.3 Slinování bez účasti taveniny

Toto slinování je v keramice méně časté. Proces je fyzikálního charakteru, bez chemických reakcí, proto přichází v úvahu u speciální keramiky. Jedná se o nevratný proces, u něhož se volná entalpie systému snižuje. Působením tepla je látka transportována z míst o vyšším napětí na místa s nižším napětím a rozdíly se vyrovnávají. Současně se zrna spojují, póry se uzavírají a dochází ke snižování pórovitosti. Rozlišujeme dvě stádia průběhu slinování, nejdříve tvorba krčku mezi zrny jejich srůstem a potom zhutňováním vlivem eliminace pórů. Slinování je způsobeno viskózním a plastickým tokem, vypařováním a kondenzací, vnitřní (objemovou) a povrchovou (rozhraní) difúzí. První stádium končí vznikem uzavřených pórů a v druhém stádiu nastává vlivem povrchových sil další zmenšování pórů. Viskózní a plastický tok je hlavním slinovacím mechanismem zrn složených ze skelné fáze. Toto slinování se urychluje zvýšením teploty. [6]

Model slinování bez přítomnosti kapalné fáze představují dvě kulové částice, na jejichž kontaktu se tvoří spoj, tzv. krček. Jsou možné dva způsoby:

- krček se tvoří bez přibližování středu obou koulí, tzn. bez *smršťování soustavy*
- při tvorbě krčku se středy obou koulí přibližují, soustava se *smršťuje* [1]



- tvorba krčku bez smrštění soustavy
 - tvorba krčku se smrštěním soustavy
(y označuje velikost přiblížení středů koulí)
- 1 – vypařování a kondenzace
2 – povrchová difúze
4 – objemová difúze
5 – hraniční difúze

Obr. 7 - Model slinování dvou kulatých částic bez přítomnosti kapalné fáze

5.6.1.4 Slinování za účasti taveniny

Je to nejčastější způsob slinování silikátů. Hnací silou je povrchová energie systému. Slinování vícesložkového systému nad teplotou tání jedné komponenty nebo eutektika se projevují tři mechanismy.

- **Přeskupování systému** – viskózní tok zrn s taveninou nastává při dostatečném množství taveniny (asi 40%) a výsledkem je hutnější skladba zrn a smršťování systému.
- **Rozpouštění a opětovné vylučování** – prostor mezi zrny není zcela vyplněn taveninou. Kapilární tlak působí na zrna oddělená tenkým filmem, zvyšuje se chemický potenciál a rozpustnost pevné fáze. Zhutňování se zpomaluje.
- **Slinování v pevném stavu** – nesmáčí-li tavenina celý povrch zrn, zpomaluje se zhutňování a rychlost je stejná, jako při slinování bez taveniny.

Úměrně se zhutněním se zmenšuje objem pórů a plyny uzavřené v pórech a stlačované slinovacím procesem musí mít možnost unikat z pórů difúzí. Uniká-li plyn pomalu, ustaví se rovnováhy mezi tlakem plynu a kapilárními silami (způsobují zmenšování pórů) a slinování nepokračuje. Nedosáhne-li plyn povrchu, přechází potom z malých pórů s větším tlakem do větších pórů, kde je tlak plynu nižší.[6]

Předpoklady dokonalého zhutnění:

- dostatek taveniny (20 – 50 %), aby zrna byla taveninou obalena
- pevná fáze se musí úplně smáčet taveninou
- pevná fáze se částečně rozpouští v tavenině
- viskozita nemá být nízká nebo velký difúzní koeficient v tavenině[2]

Slinování s taveninou probíhá v nereaktivním systému podle fyzikálních zákonů, fáze mezi sebou chemicky nereagují a pevná zrna sama neslisují. Působí pouze tavenina ve velkém objemu (rozpouští se a vylučuje). Slinování s taveninou v reaktivním systému probíhají difúzí chemické reakce i při relativně menším podílu taveniny, zrna tuhé fáze se dotýkají a dochází k jejich rozpouštění a opětovnému vylučování z roztoku na jiném místě v kontaktech zrn. Tavenina smáčí povrch pevných zrn, nereaguje s nimi a tak hnací silou procesu je povrchová energie. Modelem jsou dvě kulové částice (obr. 6a), mezi nimiž je určité množství taveniny,

kteří tvoří těleso s velmi konkávně zakřiveným povrchem, tzv. nodoid. Působící síla P stahuje částice dohromady, až se částice spojí (obr. 6b).

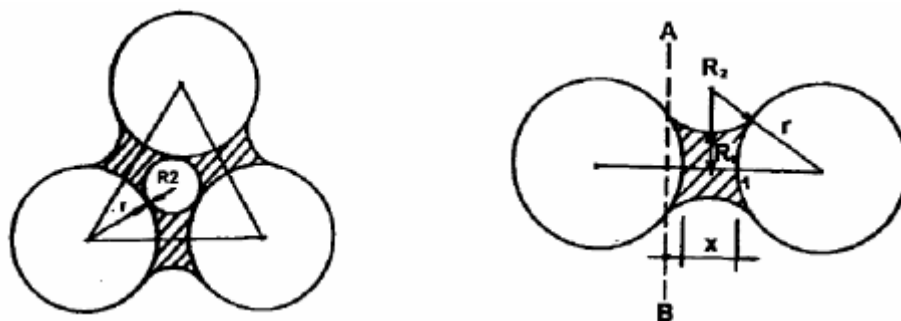
Díky zakřivení působí v tavenině tlak Δp :

$$-\Delta p = \sigma_{l,g} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad P = \Delta p \cdot S$$

$R_1, R_2 \dots$ poloměry menisků taveniny dle obr. (3-3-2),

$S \dots$ plocha působící taveniny,

$\sigma_{l,g} \dots$ povrchové napětí (energie na rozhraní fází kapalina l a plyn g).



Obr. 8 - Model působení taveniny při slinování. Plocha S je v řezu AB . Slinování tří částic s uzavřeným vzduchovým pórem o poloměru R_2

5.6.1.5 Slinování za použití tlaku

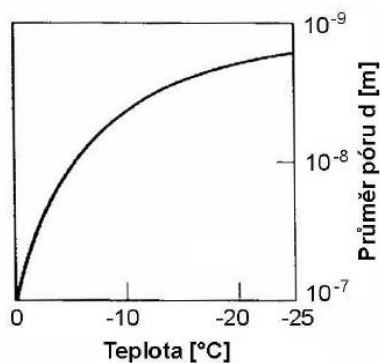
V určitých případech lze použít k slinování zvýšeného tlaku. Slinování za použití tlaku je však technologicky i ekonomicky náročné, proto se využívá pouze v případech, kde beztlakové lisování nestačí. Většinou se jedná o výrobky, u kterých je požadována vysoká hustota střepu v kombinaci s malou velikostí zrn. Při tlakovém slinování je vnější tlak realizován plynem nebo mechanicky a je přidáván k slinovacímu tlaku a napomáhá difuzi vakancí z povrchu pórů a tedy k jejich zániku. Pro slinování za použití tlaku existují tyto technologické metody:

- **Hot pressing** - zde je tlak aplikován uniaxiálně na prášek ve formě,
- **Sinter forging** - ta je podobná hot pressing, ale bez omezování vzorku ve formě.
- **Hot isostatic pressing** - zde je použit izostatický tlak plynu. [12]

6 Mrazuvzdornost

Mrazuvzdornost je schopnost keramického výrobku vydržet podmínek určený počet cyklů zmrazování bez následného vzniku závad na střepe nebo glazuře. Častou příčinou špatné mrazuvzdornosti střepe je porušení v důsledku vnitřní skryté vady vznikající při vytváření – textury. Mrazuvzdornost vlastní střepevé hmoty je dána přeměnou vody v led, která je provázena objemovým nárůstem ledu zhruba o 10 %. Při dalším snižování teploty pod bod mrazu dochází navíc rekrytalizací ledu k jeho dalšímu objemovému nárůstu (při -22°C činí 13,3 %).

Existuje vztah mezi odolností vůči mrazu a nasákavostí. Nižší nasákavost je předpokladem větší odolnosti proti vlivu mrazu. Mrazuvzdornost je ovlivňována rovněž tvarem a velikostí přítomných pórů. Některé keramické střepe na základně vhodného rozložení a velikostí obsažených pórů i při nasákavosti nad 10 % vykazují za určitých podmínek dobrou mrazuvzdornost. Teplota tvorby ledu závisí na velikosti kapilár naplněných vodou. Nejdříve se tvoří voda v kapilárách o průměru nad $1\mu\text{m}$, v kapilárách s velikostí asi $0,01\mu\text{m}$ voda zmrzne při asi -20°C (obr. 4). V kapilárách se postupně tvoří ledová tříšť, která se z větších kapilár tlačí do kapilár jemnějších.



Obr. 9 - Teploty zamrzání vody v různě velkých pórech

Mrazem vznikají ve střepe značné tlaky až 200 MPa při -20°C . Keramické střepe jsou pórovité a při běžném zamrzání vody se nechovají jako zaplněné uzavřené nádoby. Vzniklé tlaky jsou eliminovány vytlačováním ještě nezamrzlé vody do kapilárního systému střepe díky postupnému zamrzání vody v různě velkých pórech. Tímto se tlak prakticky snižuje přibližně na 25 MPa při $^{\circ}\text{C}$.

Důsledky namáhání keramického střepe mrazem závisí na:

- parametrech jeho mikrostruktury (fázové složení střepe, objem a velikost pórů, pevnostní a pružnostní charakteristiky),
- stupni jeho nasycení vodou,
- působení vnějších činitelů (teplota zmrazování, počet a rychlost změn zamrzání, doba trvání nízkých teplot). [2]

6.1 Metody zkoušení mrazuvzdornosti

Pro stanovení mrazuvzdornosti jsou známy dva postupy:

- **metody přímé** – vícenásobné provedení cyklů zmrazení – rozmrazení.
- **metody nepřímé** – vyhodnocení ukazatelů ovlivňujících chování výrobku při působení mrazu:
 - koeficient nasycení vodou KNS jako poměr nasákavosti za studena NV_1 a varem NV_2 – mrazuvzdorné střepe by měli mít $KNS < 0,85$,
 - nasákavost střepe,
 - vysokotlaká rtuťová porozimetrie

6.1.1 Součinitel provlhnutí (koeficient nasycení střepe)

Koeficient nasycení střepe (KNS) je v podstatě poměr mezi nasákavostí za studena po 24 hodinách a nasákavostí varem po pěti hodinách. Dle výsledného poměru nasákavostí můžeme informativně provést klasifikaci uvedenou podle tabulky.

Činí-li hodnota koeficientu nasycení 0,85 a méně, lze s určitou pravděpodobností počítat s mrazuvzdorností budoucího výrobku.

Tab. 7 - Vyhodnocení součinitele provlhnutí

| KNS | Vyhodnocení |
|---------------------|--------------------------------------------------|
| $KNS < 0,74$ | vysoká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu |
| $0,74 < KNS < 0,84$ | nejistá mrazuvzdornost |
| $KNS > 0,84$ | nízká pravděpodobnost mrazuvzdornosti materiálu |

7 Zkoušky cihlářských zemin

7.1 Vlastnosti plastického těsta

7.1.1 Plastičnost těsta podle Pfefferkorna - ČSN 72 1074

Plastičnost vytvářecích test se stanovuje na základě deformačního poměru na Pfefferkornově přístroji. Zhotovíme zkušební válečky z keramického těsta s určitým množstvím vlhkosti (rozdělovací vody) o průměru $33 \pm 0,5$ mm výšky $40 \pm 0,1$ mm. V přístroji dle (obr. 7) stanovíme výšku válečku po stlačení pádem závaží 1200 g těžkým z výšky $h_0 = 185$ mm.

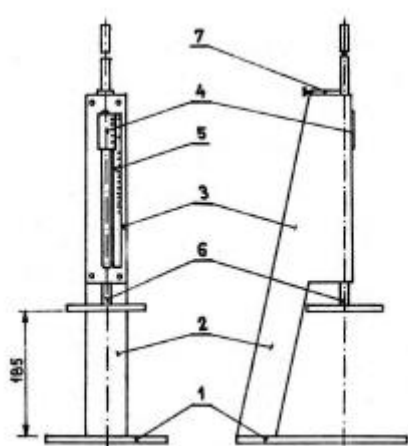
Současně stanovíme množství vody obsažené v plastickém těstě. Interpolací několika měření v oblasti deformačního poměru $d \in (0,2; 0,8)$ s různým množstvím vody vypočítáme optimální vlhkost keramického těsta při deformačním poměru $d = 0,4$ a optimální množství vody cihlářského těsta při $d = 0,6$. Využívá se té skutečnosti, že závislost deformačního poměru na vlhkosti plastického těsta je v uvedeném intervalu deformačních poměrů (0,2 – 0,8) lineární.

Deformační poměr d se vypočítá:

$$d = \frac{h_n}{h_0} \quad [-]$$

h_0 ... výška válečku před deformací

h_n ... výška válečku po deformaci



1 – podložka

2 – nosný rám

3 – uložení vodící tyče

4 – nonius

5 – milimetrová stupnice

6 – vodící tyč s padací deskou

7 – aretační šroub

Obrázek č.7: Schéma Pfefferkornova přístroje podle ČSN 72 1074 [3]

Postup:

V prvé řadě připravíme plastické těsto pomocí následujících postupů:

- pro keramická těsta – 1500 g vzorku zeminy s granulometrií pod 2 mm se v porcelánové misce zalije vodou tak, aby byl vzorek zcela ponořen, a nechá se odstát minimálně 12 hodin. Poté se kaše důkladně promíchá a zbaví se přebytečné vody na sádrové desce 500 x 400 x 40 mm. Vrstva kašovitého vzorku se rozdělí na přibližně stejné díly, z kterých se po odebrání v různém čase vytvoří dvě těsta s různou vlhkostí. Těsta se poté ručně prohnětou a vloží na 24 hodin do exsikátoru naplněného ve spodní části vodou,
- pro cihlářská těsta – z 500 g vzorku se připraví dvě tvárná těsta s různou vlhkostí postupným přidáním vody za současného ručního hnětení. Obě těsta se poté nechají 24 hodin v exsikátoru naplněném ve spodní části vodou.

Z každého těsta se připraví 5 zkušebních válečků dvěma příslušnými postupy:

- příprava na šnekovém lisu za atmosférického tlaku nebo na upraveném mlýnku na maso (velikost 8 bez nože a děrované vložky) s příslušným kónickým ústím s délkou 95 mm,
- příprava ručním zatloukáním do kovové formy.

Připravené válečky se poté nařezou na potřebnou výšku ($40 \pm 0,5$) mm a změří se přesně jejich výška pomocí posuvného měřítka s přesností 0,1 mm – výška h_0 . Poté se vloží do Pfefferkonova přístroje a odjištěním se závaží spustí dolů. Následně se změří výška zkušebního válečku po deformaci – výška h_n . Z test se poté odebere vzorek na stanovení příslušné vlhkosti. [4]

7.2 Vlastnosti vysušeného výlisku

7.2.1 Citlivost k sušení - ČSN 72 1565 - 11

Citlivostí k sušení se rozumí schopnost keramických výlisků se nezávadně vysušovat, tzn. bez vzniku trhlin nebo deformací. Vyšší citlivost k sušení znamená vyšší riziko poškození výlisků během sušení. Citlivost k sušení se hodnotí řadou zkušebních postupů, většinou se používá nepřímá metoda podle Bigota.

Citlivost k sušení se stanovuje graficky z tzv. Bigotovy křivky, což je závislost vlhkosti výlisku na jeho smrštění (obr.8). Odpařování vody je doprovázeno smršťováním jen do

určitého kritického množství vlhkosti (w_k) a dalším vysušováním se smrštění již nemění nebo jen nepatrně. Citlivost k sušení podle Bigota (CSB) se vypočítá podle vzorce:

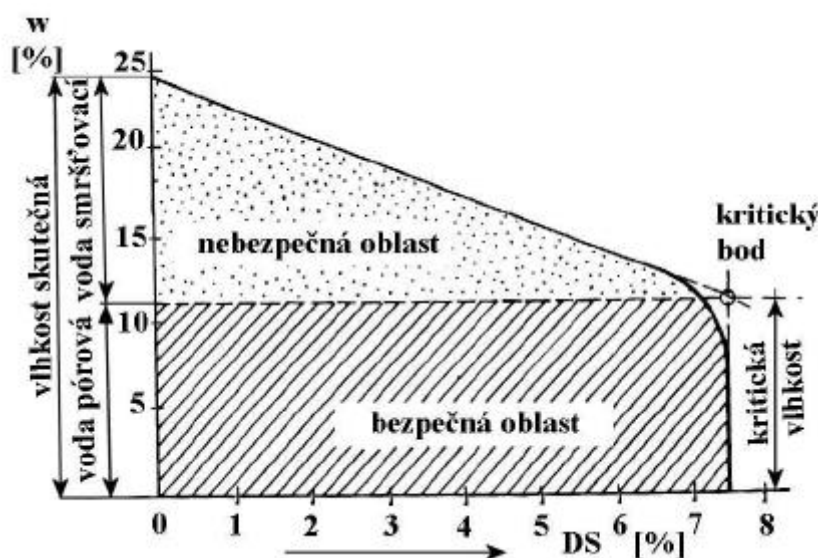
$$CSB = \frac{w_a - w_{kb}}{w_{kb}} \quad [-]$$

w_a ... vlhkost vzorku na počátku měření [%]

$w_{k,b}$... vlhkost kritického bodu [%], která se stanovuje graficky

Vyhodnocení citlivosti k sušení se provede podle následující stupnice:

| | |
|--------------------|---------------------------------------|
| $CSB < 1$ | surovina je málo citlivá k sušení, |
| $CSB \in (1; 1,5)$ | surovina je středně citlivá k sušení, |
| $CSB \in (1,5; 2)$ | surovina je citlivá k sušení, |
| $CSB > 2$ | surovina je velmi citlivá k sušení. |



Obrázek 10 - Bigotova křivka a stanovení kritické vlhkosti w_k

Postup:

Stanovení citlivosti k sušení se provádí na dvou cihelkách zhotovených dle normového postupu. Vytvořené cihelky se opatří úhlopříčnými otisky posuvného měřítka (např. v délce 80 mm) na obou stranách cihelky (tím se omezí vliv případného prohnutí cihelky během sušení) a zváží s přesností na 0,05 g. Cihelky se postaví na rošt a nechají se sušit v prostředí místnosti. V jednotlivých intervalech se cihelky měří a váží (přibližně po 1 až 2 g úbytku hmotnosti). Jestliže se délka cihelky již přestane měnit, dosuší se v sušárně při 110 °C do ustálené hmotnosti.

Z naměřených hodnot se vypočtou jednotlivé vlhkosti cihelky během sušení a jím délkové změny sušením DS. Tyto hodnoty se vynesou do grafu (Bigotovy křivky). Kritická vlhkost se graficky nalezne jako průsečík prodloužené lineární části křivky při vyšší vlhkosti cihelky s kolmicí sestrojenou k ose x v místě největšího smrštění cihelky po jejím vysušení.

7.3 Vlastnosti vypáleného keramického střepu

7.3.1 Objemová hmotnost, nasákavost - ČSN 72 1565 – 6

Jednou ze základních zkoušek pro vypálený střep je objemová hmotnost a nasákavost. Nasákavost při atmosférickém tlaku (NV_1), kdy vypálené vzorky zvážíme (s přesností na setinu gramu) poté zkoušené vzorky uložíme do vody, kde je ponecháme po dobu 24 hod. Po uplynutí této doby znovu zvážíme – hydrostatickým vážením a na vzduchu.

Nasákavost vakuovým způsobem (NV_2), kdy vypálené vzorky zvážíme (s přesností na setinu gramu) poté zkoušené vzorky uložíme do vakuacní nádoby, ze které se poté odčerpává vzduch až do dosažení vakua. S čerpáním vzduchu pokračujeme dalších 15 minut. Poté se do nádoby připustí voda, tak aby byly vzorky překryty vodou asi o 30 mm. Takto vzorky necháme 30 minut. Následně vzorky vyjmeme, otřeme vlhkou tkaninou, zvážíme hydrostaticky a na vzduchu.

Výpočet objemové hmotnosti:

$$OH = \frac{m_s}{m_n - m_{nv}} \cdot \rho_v \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}$$

m_s ... hmotnost suchého vzorku [kg],

m_n ... hmotnost nasáklého vzorku váženého na vzduchu [kg],

m_{nv} ... hmotnost nasáklého váženého hydrostaticky (pod vodou) [kg],

ρ_v ... hustota kapaliny, v níž je prováděno hydrostatické vážení [kg.m⁻³].

Výpočet nasákavosti:

$$NV = \frac{m_n - m_s}{m_s} \cdot 100 \text{ [%]}$$

m_n ... hmotnost vzorku po zkoušce nasákavosti [kg]

m_s ... hmotnost vysušeného vzorku [kg]

7.3.2 Pevnost v tahu za ohybu - ČSN 72 1565 - 7

Pro laboratorně vytvořené vzorky se nejčastěji stanovuje na Michaelisově přístroji s danou roztečí podpěrných břitů l a poměrem 1:50. Před zkouškou je třeba nejprve změřit průřezy b a h .

Výpočet pevnosti v tahu za ohybu:

$$\sigma_{po} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad [MPa]$$

σ_{po} – pevnost v tahu za ohybu [MPa]

F – působící síla [N]

l – vzdálenost podpor [mm]

b – šířka průřezu [mm]

h – výška průřezu [mm]

7.3.3 Slínavost keramických surovin

Každá zemina je charakterizována svou slínavostí. Tu lze definovat jako schopnost keramických materiálů zhutňovat se výpalem. Běžně se vyjadřuje teplotou slinutí, intervalem slinutí, resp. slínání.

Teplota slinutí (t_s) - teplota ve °C, při níž má vypálený vzorek po vychladnutí na teplotu okolí nasákavost rovnu právě 2 %. Nedosáhne-li tohoto zhutnění při teplotě rovné nebo menší než 1400 °C, vyjádří se teplota slinutí „nad 1400 °C“.

Interval slinutí (I_s) - rozdíl mezi teplotou slinutí a teplotou deformace: $I_s = t_d - t_s$

Interval slínání (I_h) - rozdíl mezi teplotou slinutí a zhutnění: $I_h = t_s - t_h$

Teplota zhutnění (t_h) - teplota, při níž má vzorek po výpalu a vychladnutí nasákavost NV = 6 % (8%)

Teplota deformace (t_d) - teplota, při níž nastane deformace žároměrky připravené ze vzorku.

Teplota maximálního zhutnění (t_{hmax}) - teplota, při níž má vzorek nejmenší nasákavost, v každém případě menší než 2 %.

Při stanovení slínavosti se nejprve stanoví teplota slinutí t_s takovým způsobem, že se na vzorcích vyrobených podle ČSN 72 1073, vypálených podle ČSN 72 1082 na různé teploty,

určí nasákavost podle ČSN 72 5010. Dále se stanoví teplota deformace (žároměrné shody) až jejich rozdílu interval slinutí I_s . Při stanovování ostatních intervalů se postupuje obdobně. To znamená, že se řada zkušebních vzorků vypaluje na různé teploty. Vypalovací teploty se volí podle typu materiálu a jsou odstupňovány po 100 °C. Na každou teplotu se vypalují 3 zkušební cihelky. Po vychladnutí cihelky se stanoví jejich nasákavost.

Z výsledku zkoušky se sestaví křivka závislosti nasákavosti na vypalovací teplotě, ta že jednotlivé body křivky jsou aritmetickým průměrem tří stanovení. Z odečtených hodnot je možno určit intervaly zhutňování, slínání a slinutí. [4]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

V této části bakalářské práce byl proveden průzkum trhu s jíly v ČR. Zde vybrané jíly lze použít jako příměs v cihlářském průmyslu pro snížení pórovitosti střepu při stávajících podmínkách výpalu. Byly definovány jejich typické znaky a charakteristiky.

V druhé části byl proveden experiment, kdy byla surovinová směs modifikována určitým množstvím nízkoslinujícího jílu GE. Jako cihlářská surovina byl použit spraš Šlapanice a Jirčanská zemina. Tyto základní cihlářské zeminy jsou běžně používané pro výrobu střešních tašek Tondach – závod Šlapanice. Na cihlářských zeminách byly provedeny zkoušky dle ČSN 72 1074 a ČSN 72 1565.

Výstupem praktické části je zhodnocení efektu použití jílu GE jako příměsi a ekonomické zhodnocení.

1 Průzkum trhu s jíly v ČR

1.1 Jíl B1

Jíl B1 je řazen mezi žárovzdorné vazné kaolinitické jíly. Vyznačuje se především dobrou slínavostí, vysokou vazností a pevným hutným střepem po výpalu. Používá se jako vazná a žárovzdorná složka při výrobě žárovzdorných materiálů vysoké hutnosti a pevnosti za sucha i po výpalu. Tyto jíly jsou nezbytnou součástí při výrobě dlaždic, slinutých dlaždic, obkladaček, šamotů, smaltů, střešních tašek, elektroporcelánu, komínových vložek a užitkové keramiky.

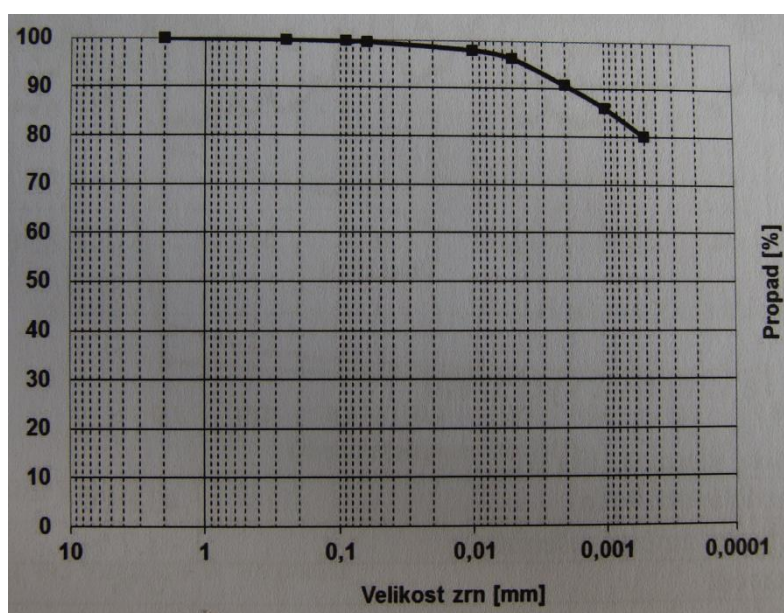
Lokalita: Skalná.

Vzhled a barva: světle modravě šedý.

Důlní vlhkost: 20 - 25 %.

1.1.1 Granulometrie

Jíl B1 obsahuje pouze 0,5 % částic nad 0,063 mm. Nadsítový podíl na síti 0,063 mm je tvořen pouze křemennými zrny.



Obr. 11 - Granulometrie jílu B1

1.1.2 Chemické složení, žárovzdornost

Tab. 8 - Chemické složení jílu B1

| Jíl | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | Zž 1100°C |
|-----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|------------------|-------------------|-----------|
| B1 | 48,6 | 33,84 | 2,57 | 0,83 | 0,28 | 0,36 | 1,98 | 0,1 | 11,25 |

Žárovzdornost 1700 – 1730 °C

Jíl B1 obsahuje minerály: kaolinit, illit, slídu (muskovit) a velmi malé množství křemene.

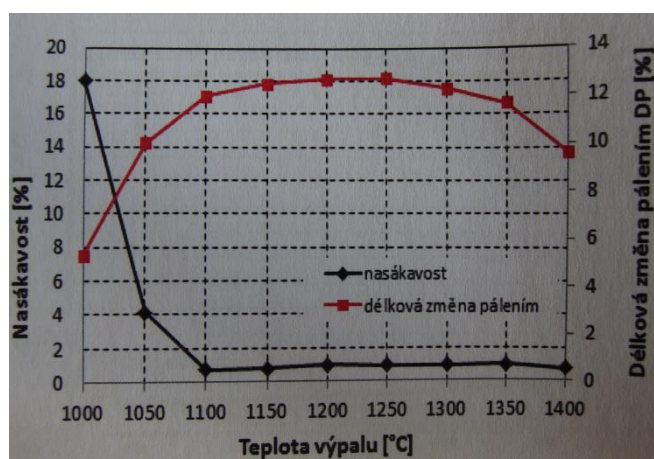
1.1.3 Vlastnosti ve vztahu k výpalu

Během výpalu dochází do cca. 600 °C ke zvětšování objemu střepu vlivem rozkládání kaolinitu (cca 0,25 %). Následuje teplotní interval (700 – 900 °C) s malým smrštěním střepu do 1 %. Velmi intenzivní *smršťování střepu nastává v teplotním intervalu 900 – 1150 °C*. Teplotní interval 1150 – 1300 °C je charakterizován pozvolným ustáváním *zhutňování střepu a od 1300 °C je již třeba počítat s nadýmáním střepu*. To se projevuje nevýrazným zvětšením objemu střepu.

1.1.4 Slínavost jílu B1

Nárůst teploty výpalu znamená v první fázi do 1100 °C prudké snižování pórovitosti střepu a poté až do maximální použité vypalovací teploty je nasákavost střepu téměř konstantní. Při teplotách výpalu nad 1300 °C se již začíná vytvářet uzavřená pórovitost, která se projevuje poklesem objemové hmotnosti a zdánlivé hustoty.

Teplota maximálního slinutí: 1250 °C (podle maximální objemové hmotnosti střepu). Teplota slinutí činí asi 1080 °C.



Obr. 12 - Slínavost jílu B1

1.2 Jíl GE

Jíl GE se řadí mezi slévárenské jíly a představuje vazný jíl s velmi nízkou teplotou slinutí. Barva střepu po výpalu je červená až hnědá.

Slévárenské jíly se používají zejména jako slévárenské formovací jíly a také jako těsnící jíly díky vyššímu obsahu montmorillonitu.

Jíl GE je možno dodávat:

- homogenizovaný s těžební vlhkostí max. 35 % (volně ložený),
- v sušeném stavu – granule + prach s vlhkostí max. 18 % (volně ložený, obří vaky, pytle),
- v mletém stavu – prach pod 3mm s vlhkostí max. 12 % (obří vaky, pytle).

V minulosti byl jíl GE ve velké míře používán jako slévárenský jíl, dnes se používá v menší míře pro výrobu forem na odlévání litiny. Byl používán i pro cement - jílové injektáže, jako ucpávkový jíl při sanacích vodních staveb, jako izolační vrstva např. při dokončování studní – odizolování srážkové vody od spodní vody. Používá se i jako pojivo pro briketizaci a

peletizaci. V keramické technologii lze jíl GE používat jako plastifikační přísadu podporující slinutí střepu, úpravu jeho barvy (červená) v točirenských keramických hmotách.

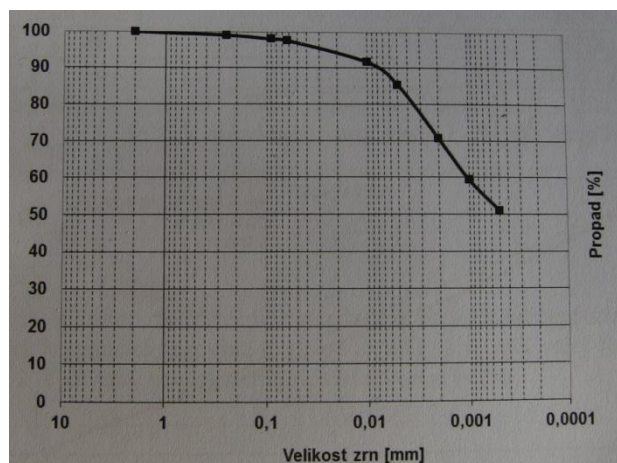
Lokalita: Skalná – tvoří podloží dnes těžených keramických vazných jílu a tvoří nejsvrchnější vrstvu souvrství o mocnosti několika metrů, která byla přeplavena a po dotaci novým materiálem znovu usazena.

Vzhled a barva: zelená.

Důlní vlhkost: 25 – 35 %.

1.2.1 Granulometrie

Zbytek na síť 0,063 mm se v různých vrstvách pohybuje od 0,19 do 2,40 %.



Obr. 13 - Granulometrie jílu GE

1.2.2 Chemické a mineralogické složení, žárovzdornost

Tab. 9 - Chemické složení jílu GE

| Jíl | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | Zž 1100°C |
|-----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|------------------|-------------------|-----------|
| GE | 55,14 | 20,33 | 9,45 | 1,10 | 0,98 | 2,15 | 2,61 | 0,14 | 7,91 |

Žárovzdornost 1570 – 1620 °C.

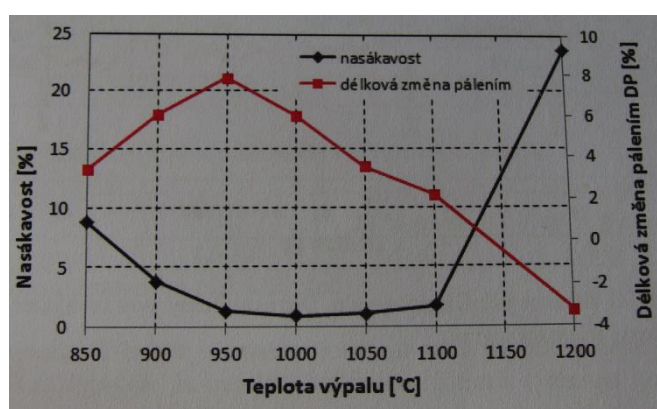
Mineralogicky je jíl GE tvořen převážně montmorillonitem (29 %), ilitem (27 %), kaolinitem (11%) a křemenem (20 %).

1.2.3 Vlastnosti ve vztahu k výpalu

Jíl GE patří mezi velmi dobře slínavé jíly – výrazné *smršťování* střepu tvořeného jílem GE lze pozorovat již od 800 °C a končí při teplotě 1030 °C. Následuje výrazné nadýmání střepu.

1.2.4 Slínavost jílu GE

Jíl GE vykazuje velmi nízkou teplotu maximálního slnutí – 950 °C, kdy je střep nejhutnější (maximální objemová hmotnost). Od teploty výpalu 1100 °C lze pozorovat výrazné nadýmání střepu provázené zvýšením pórovitosti.



Obr. 14 - Slínavost jílu GE

Tab. 10 - Hydrofyzikální vlastnosti jílu GE

| | Mez tekutosti | Mez plasticity | Index plasticity |
|--------|---------------|----------------|------------------|
| Jíl GE | 85% | 46% | 39% |

1.2.5 Vlastnosti jílu GE v závislosti na hloubce uložení

Jíl GE tvoří mocné ložisko, jehož vlastnosti se mění v závislosti na hloubce uložení.

Tab. 11 - Chemické složení jílu GE v závislosti na hloubce uložení

| Hloubka | Značka | R _{0,063} [%] | z.ž. [%] | MBI [mg.l ⁻¹] | Al ₂ O ₃ [%] | Fe ₂ O ₃ [%] | TiO ₂ [%] | SiO ₂ [%] | MgO [%] | CaO [%] | Na ₂ O [%] | K ₂ O [%] |
|---------|---------|---------------------------|-------------|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|------------|--------------------------|-------------------------|
| 0-0,5 | K (1) | 0,45 | 11,03 | 21 | 27,28 | 4,83 | 0,86 | 53,36 | 0,54 | 0,54 | 0,07 | 1,3 |
| 0,5-1 | KGe (2) | 0,19 | 9,65 | 26,4 | 21,45 | 8,22 | 0,88 | 56,22 | 0,9 | 0,81 | 0,1 | 1,57 |
| 1-1,5 | GeK (3) | 0,24 | 8,85 | 32,2 | 20,83 | 8,92 | 1,05 | 55,93 | 1,29 | 0,96 | 0,12 | 1,86 |
| 1,5-2 | Ge (4) | 0,68 | 7,39 | 35 | 16,83 | 13,22 | 1 | 54,68 | 2,68 | 1,01 | 0,12 | 2,88 |
| 2-2,5 | Ge (5) | 0,34 | 6,93 | 28,3 | 13,33 | 11,9 | 1,14 | 55,95 | 3,17 | 1,01 | 0,15 | 3,22 |
| 2,5-3 | Ge (6) | 2,4 | 6,37 | 32,5 | 15,48 | 10,91 | 1,12 | 57,3 | 3,49 | 1,16 | 0,19 | 3,78 |
| 3-3,5 | Ge (7) | 0,74 | 6,71 | 30,2 | 16,4 | 10,33 | 1,24 | 56,56 | 3,42 | 1,34 | 0,19 | 3,61 |
| 3,5-4 | Ge (8) | 0,44 | 6,9 | 25,8 | 16,77 | 9,72 | 1,3 | 56,71 | 3,35 | 1,34 | 0,19 | 3,5 |
| 4-4,8 | Ge (9) | 0,65 | 6,96 | 25 | 17,21 | 9,54 | 1,38 | 56,61 | 3,18 | 1,37 | 0,21 | 3,45 |

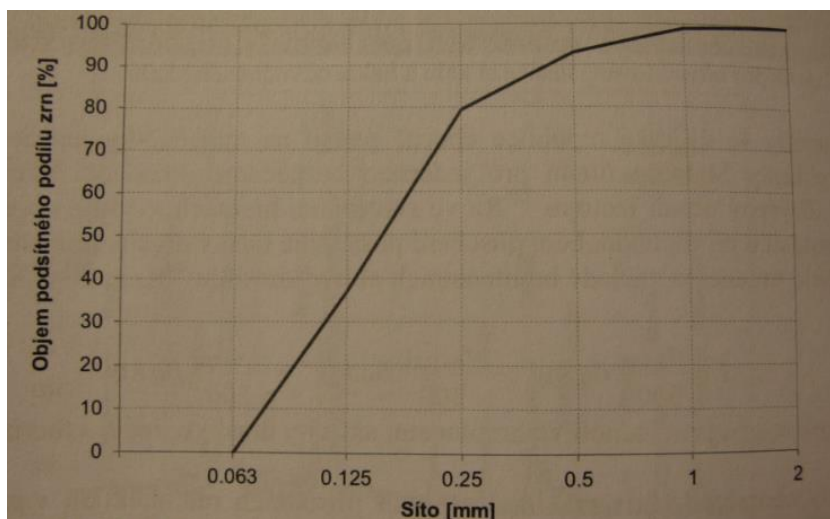
1.3 Kal Ledce

Kal Ledce (oficiálně nazývaný jako jílový produkt kaolisu) představuje druhotnou surovinu, která vzniká během procesu promývání (praní) křemenného písku frakce 0-4 mm (drobné těžené kamenivo DTK 0/4) v lomu Ledce u Brna.

Natěžený křemenný písek se v promývačce zbavuje nežádoucí jemnozrnné složky jílových a prachových zrn, které se ve formě suspenze (kalu) odvádějí do kalolisu, kde je suspenze odvodněna do podoby plastického těsta. Pro urychlení procesu odvodnění je do suspenze dávkován flokulační přípravek SOKOFLOK 26 v koncentraci asi 0,1 %. Následně je kal v podobě hald skládkován v okolí těžební jámy. Roční produkce tohoto kalu představuje průměrně 30 tisíc tun.

1.3.1 Granulometrie

Zbytek na síť 0,063 mm činí u Kalu Ledce téměř 32 % a tato zrna jsou mineralogicky tvořena především křemenem, živci a slídou.



Obr. 15 - Křivka zrnitosti podílu zrn na síť 0,063 mm

1.3.2. Chemické a mineralogické složení, žáruvzdornost

Tab. 12 - Chemické složení Kalu Ledce

| Jíl | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | Zž 1100°C |
|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|------------------|-------------------|-----------|
| Ledce | 55,38 | 19,96 | 8,53 | 1,05 | 2,45 | 3,92 | 2,82 | 1,1 | 6,97 |

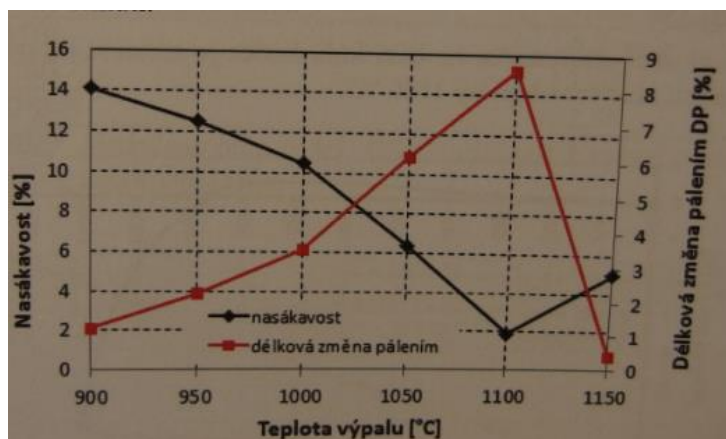
Žáruvzdornost 1180 °C.

Mineralogicky kal tvoří křemen, živce (ortoklas, albit), slída (muskovit) a montmorillonit. Díky velmi vysokému obsahu Fe₂O₃ je možno kal využít pro úpravu barevnosti např. cihlářského střepe, kdy je třeba dosáhnout výraznějšího červeného zbarvení střepe.

Určitou nevýhodou kalu Ledce je vyšší obsah rozdělovací vody potřebné k přípravě plastického těsta a z toho plynoucí vyšší citlivost k sušení. [4]

1.3.3 Slínavost Kalu Ledce

V porovnání s ostatními komerčně prodávány jílky vykazuje kal Ledce velmi dobrou slínavost, která se projevuje velmi nízkou nasákavostí (vysokou hutností) střepe při dané vypalovací teplotě. Po překročení teploty maximálního slnutí (1100 °C) a nastává tzv. proces nadýmání, ten se projevuje zvětšením objemu střepe v důsledku sekundární pórovitosti. Teplotu 1100 °C lze považovat jako maximální použitelnou v praxi. Tuto teplotu lze označit jak za teplotu slnutí, tak i za teplotu maximálního slnutí. [4]



Obr. 16 - Slínávnost kalu Ledce

2 Experimentální část

Standartní normalizované vzorky o rozměrech 100 x 50 x 20 mm byly vytvořeny z cihlářské suroviny tvořené z Jirčanské zeminy a Spraše Šlapanice. Suroviny byly pomlety, míseny v poměru 1:1 a následně modifikovány příměsí jílu GE.

Referenční vzorek byl tvořen pouze z cihlářské suroviny. V následujících vzorcích byl použit jako příměs jílu GE v množství 5 %, 10 % a 15 %.

2.1 Použité suroviny

Spraš Šlapanice

- mineralogické složení: illit, chlorit, kalcit, křemen, živec

Jirčanská zemina

- mineralogické složení: illit, montmorillonit, chlorit, křemen, živec [13]

2.2 Metodika práce

2.2.1 Zkoušky na plastickém těstě

2.2.1.1 Stanovení optimální vlhkosti keramických těst Pfefferkornovým přístrojem

Norma: ČSN 72 1074

Tab. 13 - Složení plastických těst

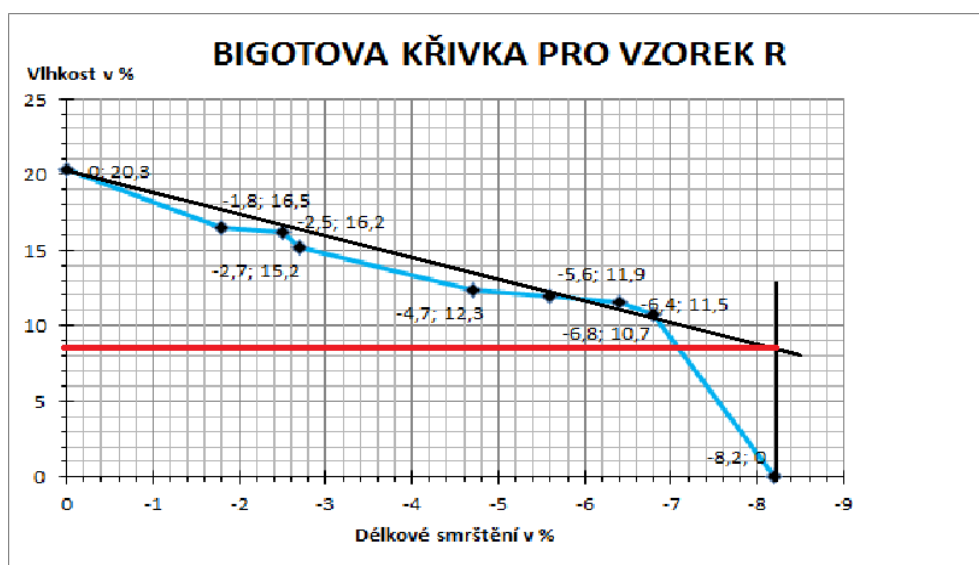
| Vzorek | Cihlářská z. [%] | Jíl GE [%] | d [-] | w _{opt} [%] |
|--------|---------------------|---------------|----------|-------------------------|
| R | 100 | 0 | 0,6 | 22,5 |
| 1 | 95 | 5 | 0,6 | 23,8 |
| 2 | 90 | 10 | 0,6 | 22,7 |
| 3 | 85 | 15 | 0,6 | 19,6 |

2.2.2 Zkoušky na výsušku

2.2.2.1 Stanovení citlivosti k sušení podle Bigota

Norma: ČSN 72 1073

2.2.2.1.1 Vzorek R



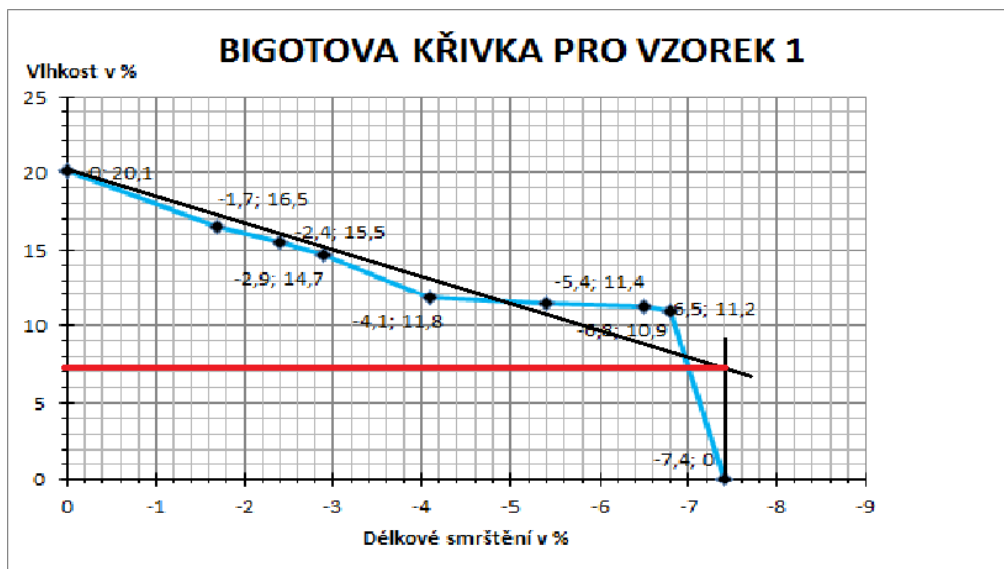
Obr. 17 - Bigotova křivka pro vzorek R

Kritická vlhkost: 8,5 %

Výpočet koeficientu citlivosti podle Bigota: $CSB_R = \frac{20,3 - 8,5}{8,5} = 1,38$

Vyhodnocení suroviny pro vzorek R: $CSB_R = 1,38$ - zemina středně citlivá k sušení

2.2.2.1.2 Vzorek 1



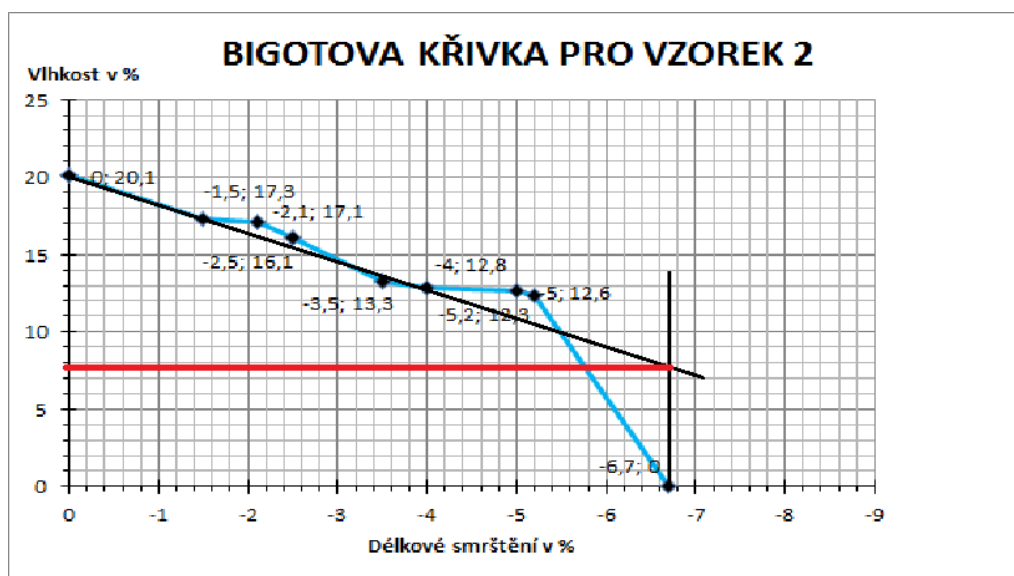
Obr. 18 - Bigotova křivka pro vzorek 1

Kritická vlhkost: **7,1 %**

Výpočet koeficientu citlivosti podle Bigota: $CSB_1 = \frac{20,1 - 7,1}{7,1} = 1,83$

Vyhodnocení suroviny pro vzorek 1: $CSB_1 = 1,83$ - zemina citlivá k sušení

2.2.2.1.3 Vzorek 2



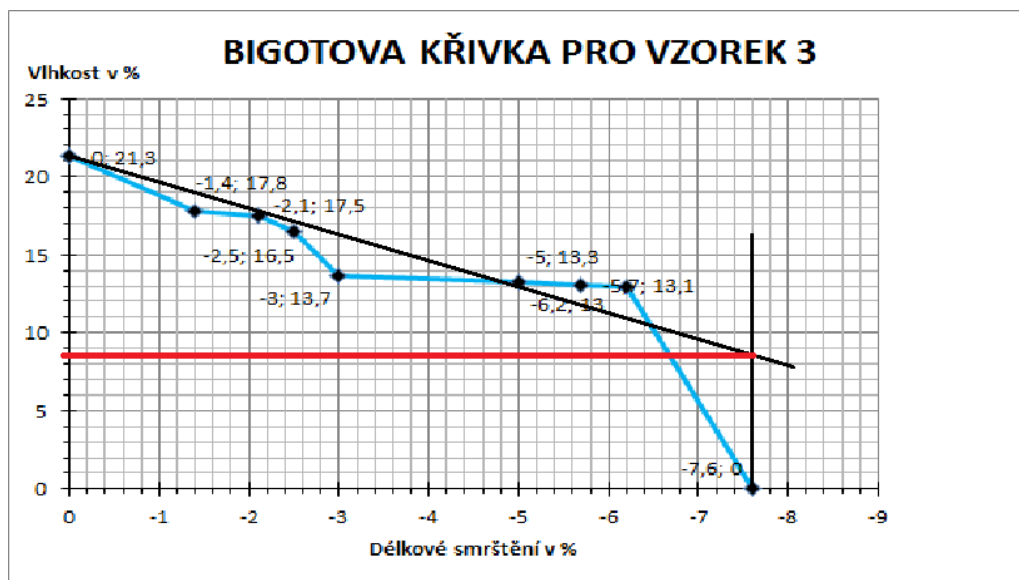
Obr. 19 - Bigotova křivka pro vzorek 2

Kritická vlhkost: **7,6 %**

Výpočet koeficientu citlivosti podle Bigota: $CSB_2 = \frac{20,1-7,6}{7,6} = 1,65$

Vyhodnocení suroviny pro vzorek 2: $CSB_2 = 1,65$ - *zemina citlivá k sušení*

2.2.2.1.4 Vzorek 3



Obr. 20 - Bigotova křivka pro vzorek 3

Kritická vlhkost: **8,2 %**

Výpočet koeficientu citlivosti podle Bigota: $CSB_3 = \frac{21,3-8,2}{8,2} = 1,6$

Vyhodnocení suroviny pro vzorek 3: $CSB_3 = 1,6$ - *zemina citlivá k sušení*

Zkoušená surovina bez použití příměsi jílu GE je dle Bigotovy křivky vyhodnocena jako surovina středně citlivá k sušení. Naproti tomu surovina s použitím příměsi jílu GE je vyhodnocena jako citlivá k sušení. Jíl GE je plastická surovina, proto se zhoršuje citlivost k sušení u vzorků obsahující příměsi jílu.

2.2.3 Zkoušky na vypálené vzorku

2.2.3.1 Pevnost v tahu za ohybu

Pevnost v tahu za ohybu byla stanovena na Michaelisově přístroji s roztečí podpěrných břitů $l = 70$ mm a poměrem 1 : 50; max 5 000 N. Pevnost byla stanovena u vzorků vypálených na 850 °C a 1050 °C.

Hmotnost prázdné misky: 0,384 kg.

Charakteristika výpalu

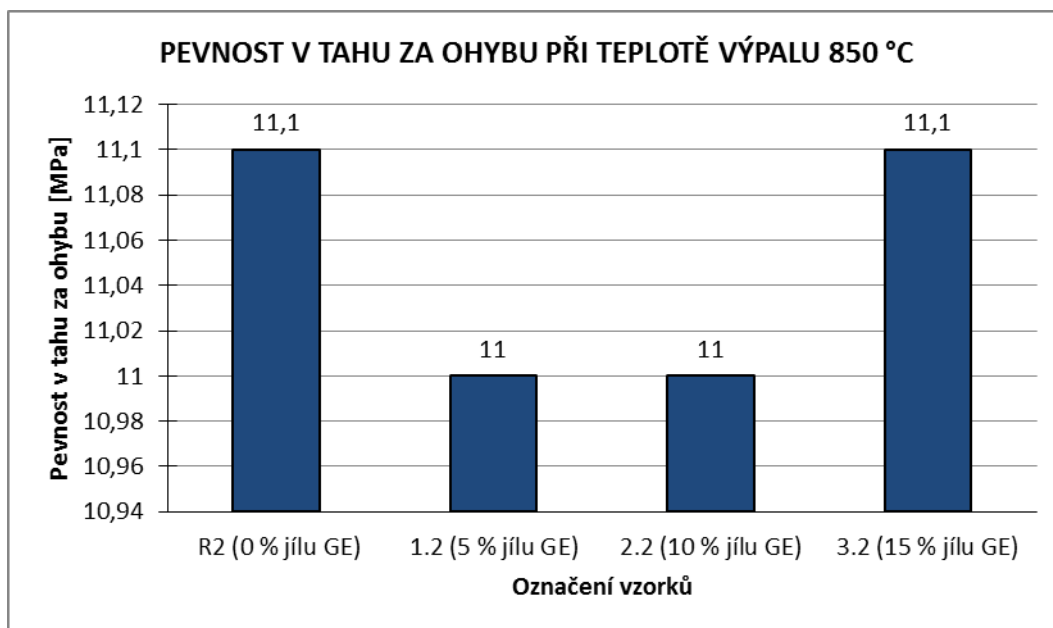
- Vypalovací režim: 850 °C, 950 °C, 1050 °C, 1150 °C.
- Nárůst teploty: 3 °C / min.
- Izotermická výdrž: 1 h.

Tab. 14 - Rozměry zkušebních vzorků

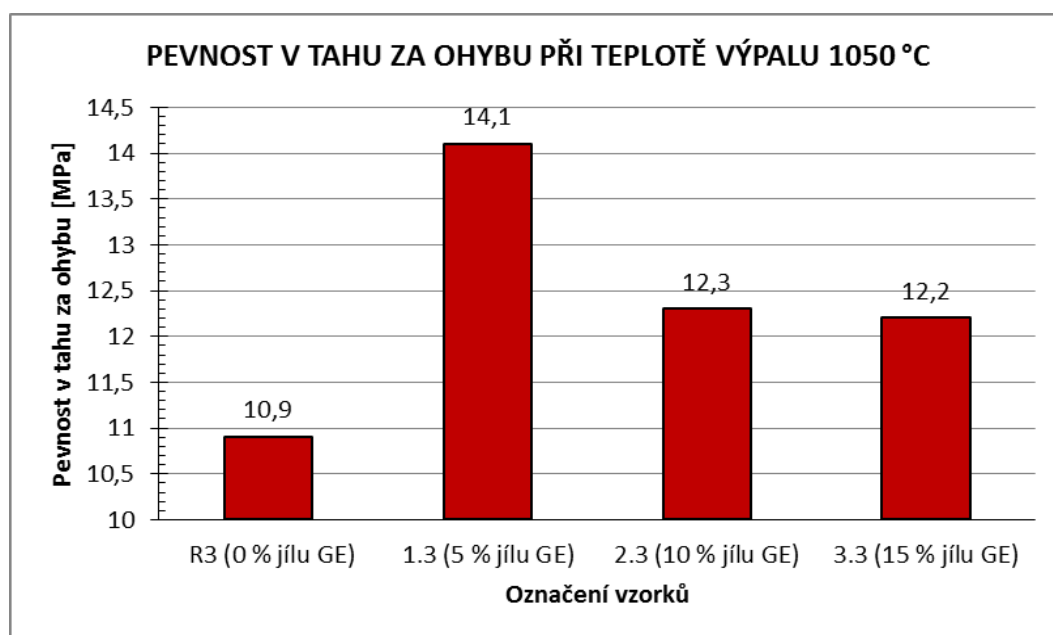
| Označení vzorků | Teplota výpalu | Výška [mm] | Šířka [mm] | Délka [mm] |
|--------------------|----------------|------------|------------|------------|
| R2 (0 % jílu GE) | 850 °C | 18,3 | 22,2 | 93 |
| 1.2 (5 % jílu GE) | | 18,2 | 22,4 | 92,8 |
| 2.2 (10 % jílu GE) | | 18,3 | 22,3 | 92,5 |
| 3.2 (15 % jílu GE) | | 18,1 | 23,1 | 92,7 |
| R3 (0 % jílu GE) | 1050 °C | 18 | 23,4 | 87,8 |
| 1.3 (5 % jílu GE) | | 17,8 | 23,1 | 87,9 |
| 2.3 (10 % jílu GE) | | 17,9 | 22,8 | 87,6 |
| 3.3 (15 % jílu GE) | | 18 | 22,6 | 87,2 |

Tab. 15 - Naměřené hodnoty na Michaelisově přístroji

| Označení vzorků | Teplota výpalu | Hmotnost broků + miska [kg] | Hmotnost broků [kg] | Působící síla [N] | Pevnost v tahu za ohybu [MPa] |
|--------------------|----------------|-----------------------------|---------------------|-------------------|-------------------------------|
| R2 (0 % jílu GE) | 850 | 1,987 | 1,603 | 786,3 | 11,1 |
| 1.2 (5 % jílu GE) | | 1,969 | 1,585 | 774,44 | 11 |
| 2.2 (10 % jílu GE) | | 1,978 | 1,594 | 781,9 | 11 |
| 3.2 (15 % jílu GE) | | 2,016 | 1,632 | 800,5 | 11,1 |
| R3 (0 % jílu GE) | 1050 | 1,984 | 1,6 | 784,8 | 10,9 |
| 1.3 (5 % jílu GE) | | 2,38 | 1,996 | 979 | 14,1 |
| 2.3 (10 % jílu GE) | | 2,126 | 1,742 | 854,5 | 12,3 |
| 3.3 (15 % jílu GE) | | 2,115 | 1,731 | 849,1 | 12,2 |



Obr. 21 - Grafické znázornění pevnosti v tahu při teplotě výpalu 850 °C



Obr. 22 - Grafické znázornění pevnosti v tahu při teplotě výpalu 1050 °C

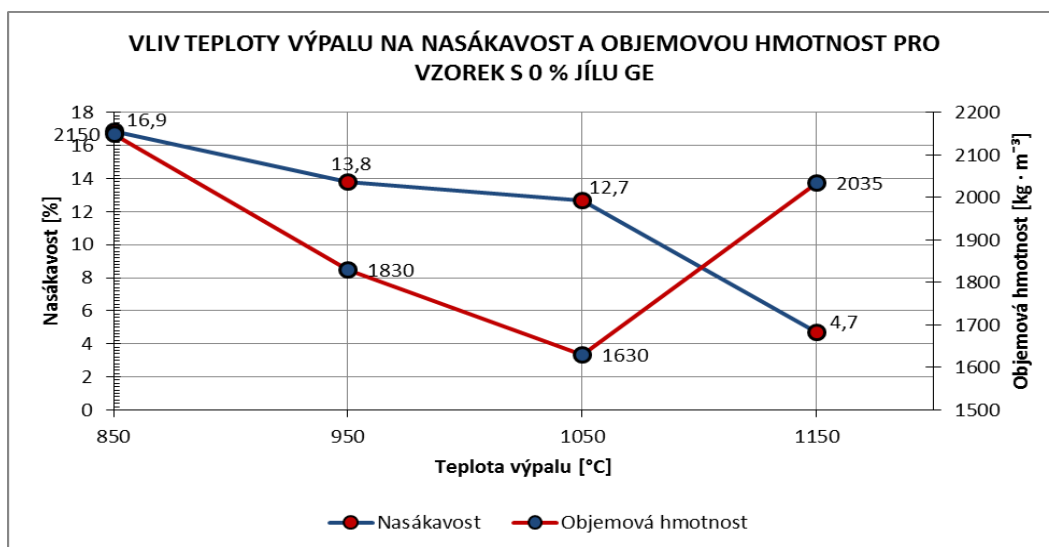
Vzorky vypálené na teplotu 850 °C (teplota pro výpal lícových cihel) vykazovali přibližně stejnou pevnost v tahu za ohybu. Použití příměsí jílu GE zde není patrné.

U vzorků vypálených na teplotu 1050 °C (teplota pro výpal střešních tašek) je už viditelný vliv jílu GE, protože jíl GE je charakteristický svou maximální teplotou slinutí okolo 950 °C.

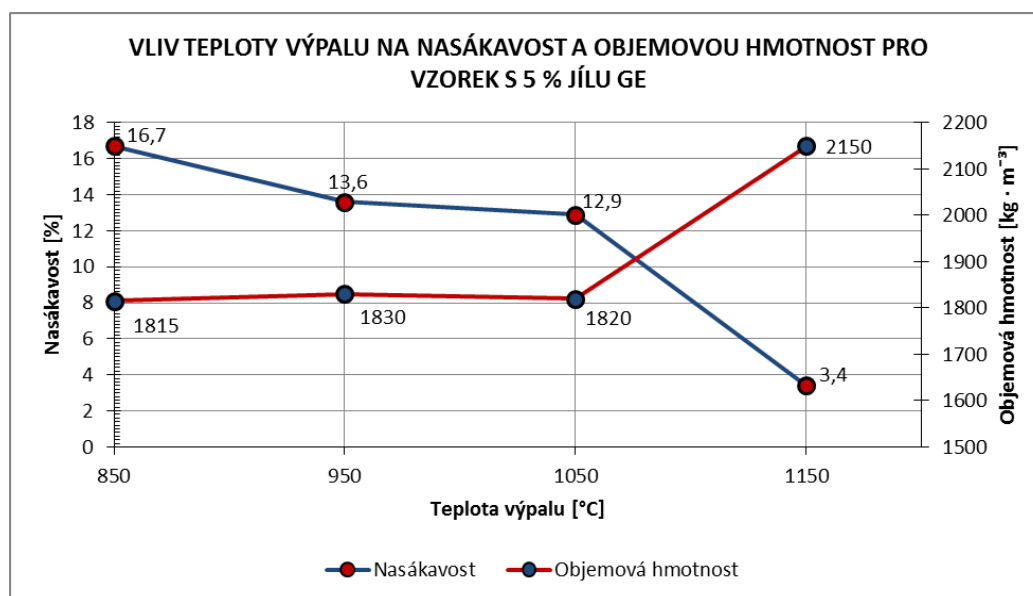
Při této teplotě je střeš nejhutnější. Nejvyšší pevnosti - 14,1 MPa dosáhl vzorek s množstvím 5 % jílů GE.

2.2.3.2 Objemová hmotnost, nasákavost

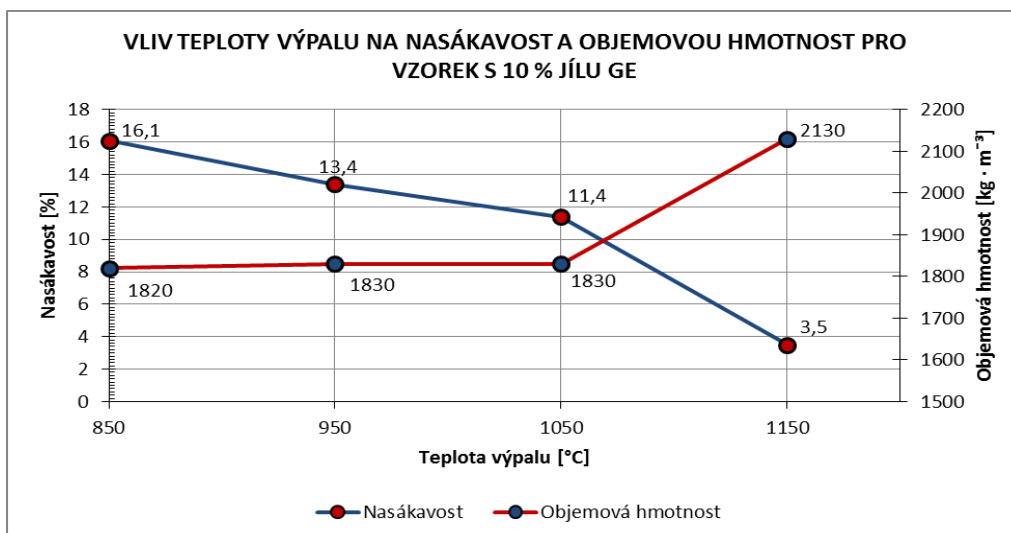
U vzorků vypálených na teplotu 850 °C a 1050 °C byla stanovena jak nasákavost za atmosférického tlaku (NV_1), tak nasákavost vákuovým způsobem (NV_2). Vzorky vypálené na teplotu 950 °C a 1150 °C byly podrobeny pouze zkoušce nasákavosti za atmosférického tlaku (NV_1).



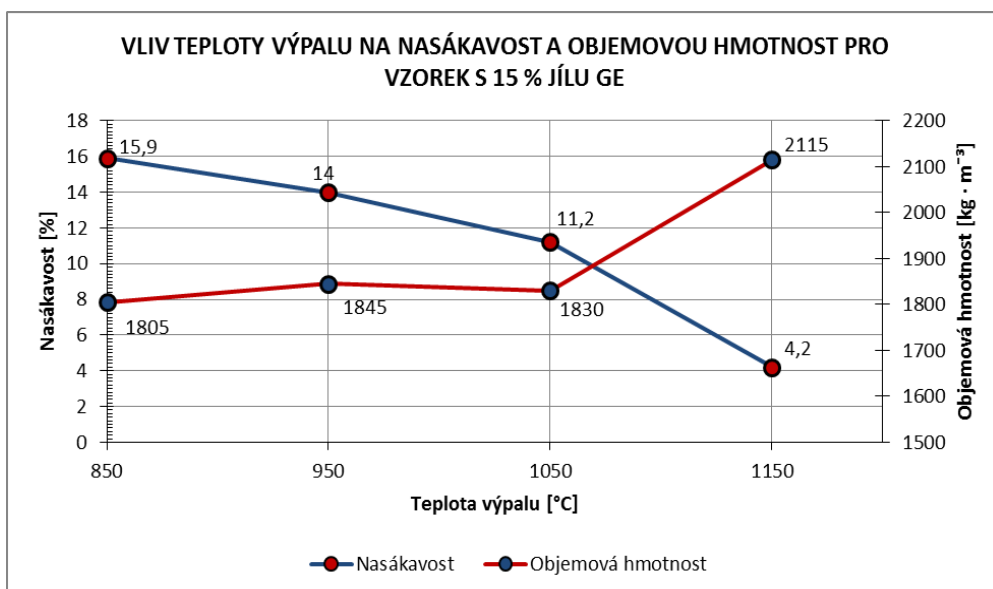
Obr. 23 - Grafické znázornění vlivu teploty výpalu na nasákavost a objemovou hmotnost pro vzorek s 0 % jílů GE



Obr. 24 - Grafické znázornění vlivu teploty výpalu na nasákavosti a objemovou hmotnost pro vzorek s 5 % jílů GE



Obr. 25 - Grafické znázornění vlivu teploty výpalu na nasákavost a objemovou hmotnost pro vzorek s 10 % jílu GE



Obr. 26 - Grafické znázornění vlivu teploty výpalu na nasákavost a objemovou hmotnost pro vzorek s 15 % jílu GE

Koeficient nasycení střepeu za studena (KNS) pro vzorky pálené na teplotu 850 °C byl stanoven pro vzorek R (bez použití jílu GE) 0,86. Naproti tomu pro vzorek 3 (15% jílu GE) byl KNS = 0,79. Vzorky pálené na teplotu 1050 °C: pro vzorek R byl KNS = 0,80, pro vzorek 3 byla hodnota KNS = 0,74. Při zvyšující se teplotě výpalu se zvyšuje odolnost proti mrazuvzdornosti. Dle výsledků koeficientu KNS je ale patrné, že příměs jílu GE napomáhá ke zvýšení mrazuvzdornosti střepeu.

Z grafického znázornění je patrné, že při zvyšující se teplotě výpalu klesá nasákavost keramického střepeu. Nižší nasákavost obecně zvyšuje mrazuvzdornost střepeu. Vzorky

s použitím příměsí jílu GE vykazovali při teplotě výpalu 850 °C menší nasákavost než vzorky bez použití jílu. U vzorků vypálených na teplotu 950 °C tomu bylo podobně až na výjimku vzorku s obsahem 15 % jílu, ten vykazoval větší nasákavost oproti vzorku bez jílu. Při vypalovací teplotě 1050 °C nejmenší nasákavost vykazoval vzorek s obsahem 15 % jílu. Nejnižší nasákavosti při výpalu na 1150 °C dosáhl vzorek s obsahem 5 % jílu.

Objemové hmotnosti u vzorků s příměsí jílu se při zvyšující se teplotě výpalu zvyšují. Výjimku tvoří vzorek s obsahem 5 a 15 % jílu. Patrně mohlo dojít k záměně vzorků. U vzorků Bez použití příměsí jílu toto nelze říci. Objemová hmotnost je napřed klesající a posléze stoupá.

ZÁVĚR

Cílem teoretické části bakalářské práce bylo nastínit dosavadní poznatky v oblasti používaných jílu s nízkou teplotou slinutí jako příměsi v cihlářské technologii.

V praktické části byl vyhodnocen experiment, kdy byla surovinová směs modifikována určitým množstvím nízkoslinujícího jílu GE v dávkách 5,10 a 15 %. Jako cihlářská surovina byl použit spraš Šlapanice a Jirčanská zemina. Tyto základní cihlářské zeminy jsou běžně používané pro výrobu střešních tašek Tondach – závod Šlapanice.

Obecně platí, že čím menší nasákavost, tím větší je pravděpodobnost vyšší mrazuvzdornosti střepu. Experiment potvrzuje, že v převážné většině příměs jílu GE zlepšuje vlastnosti vypáleného cihlářského střepu. Vlastnosti střepu s obsahem jílu se ale lišili v závislosti na množství použitého jílu ve střepu. Je tedy potřeba stanovit optimální dávku jílu.

Z ekonomického hlediska je využití jílu GE určitě výhodné, protože dokáže slinovat a tvořit hutný střep již při nižších teplotách. Výpal je nejdražší část cihlářské technologie. Použití jílu GE, tedy snížení vypalovací teploty je možnost jak snížit náklady na výpal keramických výrobků. Je ale třeba zhodnotit i dopravu této suroviny.

Použitá literatura

1. HANYKÝŘ, Vladimír a Jaroslav KUTZENDÖRFER. *Technologie keramiky*. 2.vyd., V Silikátovém svazu 1. Praha: Silikátový svaz, 2008, 387 s., [9] s. barev. obr. příl. ISBN 978-80-86821-48-1.
2. SOKOLÁŘ, R. *Keramika. Modul BJ01-M01*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006. 176 s.
3. SOKOLÁŘ, R., SMETANOVÁ, L. *Keramika – laboratoře. Modul BJ02-M01*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006. 120 s.
4. SOKOLÁŘ, R., NEVŘIVOVÁ, L., VODOVÁ, L., GRYGAROVÁ, S. *Žárovzdorné jíly v ČR a metodika posuzování jejich vlastností*. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2012. ISBN 978-80-7204-817-5.
5. VALENTA, L. *Keramická příručka*. 2. vyd. Praha: Silikátový svaz, 2007. 417 s. ISBN 978-80-86821-46-7.
6. PYTLÍK, Petr a Radomír SOKOLÁŘ. *Stavební keramika: Technologie, vlastnosti a využití*. Brno: CERM, 2002, 287 s. ISBN 80-720-4234-3.
7. www.geofond.cz
8. GEOFYZIKÁLNÍ ÚSTAV AVČR, Geofyzikální ústav Akademie věd České republiky, v.v.i. Horniny [online]. Praha: Geofyzikální ústav AVČR, v. v. i., 2005 [cit. 2012-10-21]. Dostupné z: <http://www.ig.cas.cz/cz/o-nas/popularizace/geopark-sporilov/horniny/>, (<http://ceg.fsv.cvut.cz/vyzkum/bentonit/loziskabentonitu>).
9. ŠAMALÍKOVÁ, Milena. *Geologie a inženýrská geologie: Určeno pro posl. fak. stavební*. 4., přeprac. vyd. Brno: VUT, 1989, 250 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0025-0
10. <http://www.silikaweb.cz/index.php/cs/aaaa/2-2012/43-vliv-mineralogickeho-slozeni-jilu-cheblske-panve-na-keramicke-vlastnosti>
11. Technologie, geochemie, Ing. JAROSLAV KROPÁČEK, Csc.

12. PRŮDEK, Miloš. *Slinování pokročilých keramických materiálů*. Diplomová práce. [online] Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2011. Vedoucí práce doc. RNDr. Karel Maca, Dr.
Dostupné z
http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=41958
13. KERŠNER, Štěpán. *Možnosti zvýšení mrazuvzdornosti cihlářského střeby*. Diplomová práce. [online] Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2014. Vedoucí práce doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.
Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=79803
14. BERÁNKOVÁ, Karla. *Důsledky tvorby anortitu v keramickém střeby*. Diplomová práce. [online] Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012. Vedoucí práce doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D.
Dostupné z:
<https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/10330/9663.pdf?sequence=1>
15. WASTE FORUM, *RECENZOVANÝ ČASOPIS PRO VÝSLEDKY VÝZKUMU A VÝVOJE PRO ODPADOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ*, Posouzení vhodnosti kalu z praní křemenného písku pro výrobu lícových cihel
doc. Ing. Radomír Sokolář, Ph.D, Ing. Lucie VODOVÁ
Dostupné z:
http://www.wasteforum.cz/cisla/WF_4_2013.pdf
16. SÁNCHEZ DE ROJAS, M.I., F.P. MARÍN, M. FRÍAS, E. VALENZUELA a O. RODRÍGUEZ. Influence of freezing test methods, composition and microstructure on frost durability assessment of clay roofing tiles. *Construction and Building Materials*. 2011, roč. 25, č. 6, s. 2888-2897. ISSN 09500618. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.12.041

17. [Http://cs.wikipedia.org/wiki/Keramika](http://cs.wikipedia.org/wiki/Keramika). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online].
San
Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-20].
Dostupné z:
<https://cs.wikipedia.org/wiki/J%C3%ADl>

Seznam obrázků

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 1 - Rozdělení jemnozemi dle ČSN 72 1330, kde d je velikost částic jemnozeme | 14 |
| Obr. 2 - Schéma struktury montmorillonitu (vlevo) a illitu (vpravo) | 16 |
| Obr. 3 - Stupnice zrnitosti | 18 |
| Obr. 4 - Názvosloví hornin vápenec - jílovec | 18 |
| Obr. 5 - Evidovaná ložiska žárovzdorných jílu v ČR..... | 19 |
| Obr. 6 - Idealizovaný profil ložisek jílu v okolí Skalné u Chebu..... | 22 |
| Obr. 7 - Model slinování dvou kulatých částic bez přítomnosti kapalné fáze | 32 |
| Obr. 8 - Model působení taveniny při slinování. Plocha S je v řezu AB. Slinování tří částic s uzavřeným vzduchovým pórem o poloměru R_2 | 34 |
| Obr. 9 - Teploty zamrzání vody v různě velkých pórech | 35 |
| Obrázek 10 - Bigotova křivka a stanovení kritické vlhkosti w_k | 39 |
| Obr. 11 - Granulometrie jílu B1 | 44 |
| Obr. 12 - Slínavost jílu B1 | 45 |
| Obr. 13 - Granulometrie jílu GE | 46 |
| Obr. 14 - Slínavost jílu GE..... | 47 |
| Obr. 15 - Křivka zrnitosti podílu zrn na síti 0,063 mm | 49 |
| Obr. 16 - Slínavost kalu Ledce..... | 50 |
| Obr. 17 - Bigotova křivka pro vzorek R..... | 51 |
| Obr. 18 - Bigotova křivka pro vzorek 1 | 52 |
| Obr. 19 - Bigotova křivka pro vzorek 2 | 52 |
| Obr. 20 - Bigotova křivka pro vzorek 3 | 53 |
| Obr. 21 - Grafické znázornění pevnosti v tahu při teplotě výpalu 850 °C..... | 55 |
| Obr. 22 - Grafické znázornění pevnosti v tahu při teplotě výpalu 1050°C..... | 55 |
| Obr. 23 - Grafické znázornění vlivu teploty výpalu na nasákavost a objemovou hmotnost pro vzorek s 0 % jílu GE | 56 |
| Obr. 24 - Grafické znázornění vlivu teploty výpalu na nasákavosti a objemovou hmotnost pro vzorek s 5 % jílu GE | 56 |
| Obr. 25 - Grafické znázornění vlivu teploty výpalu na nasákavost a objemovou hmotnost pro vzorek s 10 % jílu GE | 57 |
| Obr. 26 - Grafické znázornění vlivu teploty výpalu na nasákavost a objemovou hmotnost pro vzorek s 15 % jílu GE | 57 |

Seznam tabulek

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 1 - Granulometrie a měrný povrch jílových minerálů..... | 16 |
| Tab. 2 - Chemické složení jílových minerálů | 16 |
| Tab. 3 - Požadavky na pórovinové jíly | 23 |
| Tab. 4 - Požadavky na žárovzdorné jíly | 23 |
| Tab. 5 - Požadavky na kameninové jíly | 23 |
| Tab. 6 - Požadavky na kameninové jíly | 30 |
| Tab. 7 - Vyhodnocení součinitele provlhnutí..... | 36 |
| Tab. 8 - Chemické složení jílu B1 | 44 |
| Tab. 9 - Chemické složení jílu GE | 46 |
| Tab. 10 - Hydrofyzikální vlastnosti jílu GE | 47 |
| Tab. 11 - Chemické složení jílu GE v závislosti na hloubce uložení..... | 48 |
| Tab. 12 - Chemické složení Kalu Ledce | 49 |
| Tab. 13 - Složení plastických těst..... | 51 |
| Tab. 14 - Rozměry zkušebních vzorků..... | 54 |
| Tab. 15 - Naměřené hodnoty na Michaelisově přístroji..... | 54 |